



TUGAS AKHIR – MO141326

ANALISIS RESIKO PIPA BAWAH LAUT DI LAPANGAN GAS ABADI AKIBAT GEMPA BUMI

FADHILA RIZKY FINDASARI

NRP. 4312 100 129

DOSEN PEMBIMBING

**Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Kriyo Sambodho, ST, MEng, Ph.D.**

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT – MO141326

SUBSEA PIPELINE RISK ANALYSIS IN ABADI GAS FIELD DUE TO EARTHQUAKE

FADHILA RIZKY FINDASARI

NRP. 4312 100 129

MENTORS

**Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Kriyo Sambodho, ST, M.Eng, Ph.D.**

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

**ANALISIS RESIKO PIPA BAWAH LAUT DI LAPANGAN GAS ABADI AKIBAT
GEMPA BUMI**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut
Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

FADHILA RIZKY FINDASARI

NRP. 4312100129

Disetujui oleh :

1. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc

(Pembimbing 1)



2. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng, Ph.D.

(Pembimbing 2)

3. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T

(Penguji 1)

4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

(Penguji 2)

5. Agro Wisudawan, S.T., M.T

(Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2016

ANALISIS RESIKO PIPA BAWAH LAUT DI LAPANGAN GAS ABADI AKIBAT GEMPA BUMI

Nama : Fadhila Rizky Findasari
NRP : 4312100129
Jurusan : Teknik Kelautan-FTK ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng, Ph.D.

ABSTRAK

Energi dalam kebutuhan sehari-hari merupakan hal yang tidak bisa dipisahkan, khususnya minyak dan gas. Transportasi minyak dan gas saat ini umumnya menggunakan pipa bawah laut. Jalur pipa bawah laut merupakan salah satu infrastruktur transportasi jarak jauh untuk minyak dan gas yang paling efisien untuk pemindahan produksi minyak dan gas baik yang berasal dari eksplorasi di darat, daerah dekat pantai maupun dari laut dalam dengan metode yang efektif dan efisien. Kebutuhan gas yang semakin meningkat juga mengharuskan adanya pembangunan pipa bawah laut untuk transportasi. Dengan dibukanya lapangan gas Abadi sebagai salah satu sumber gas bagi Indonesia dibutuhkan pipa bawah laut sebagai sarana transportasi. Permasalahan yang timbul adalah, dengan topografi bawah laut yang cukup dalam dan pengaruh gempa yang kuat di daerah tersebut maka, diperlukan analisis resiko lebih lanjut. Dari hasil perhitungan untuk pipa yang berjarak sekitar 120 km dari lapangan gas Abadi menuju pulau Selaru dianalisis frekuensi kejadian gempa serta konsekuensinya terhadap pipa. Penelitian ini memperhitungkan pengaruh gempa dengan variasi besaran tertentu terhadap pipa yang mengakibatkan gagal atau *buckling*. Dari hasil perhitungan resiko selama 20 tahun didapatkan bahwa pada tanah pasir mengalami penurunan tanah yang lebih dalam dibandingkan tanah lempung dengan penurunan maksimum hingga 5,38 m dengan panjang *free-span* kritis sepanjang 1 meter sedangkan untuk tanah lempung panjang *free-span* kritis sepanjang 1 meter akibat penurunan tanah 3,5 m dengan nilai konsekuensi kegagalan lebih kecil.

Kata Kunci : Analisis Resiko, Pipa Bawah Laut, Lapangan Gas Abadi, Gempa Bumi, *Soil Liquefaction*

SUBSEA PIPELINE RISK ANALYSIS IN ABADI GAS FIELD DUE TO EARTHQUAKE

Name : Fadhila Rizky Findasari
ID Number : 4312100129
Department : Ocean Engineering-FTK ITS
Mentors : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng, Ph.D.

ABSTRACT

Energy in the daily use is thing that can't be separated, especially oil and gas. These day, subsea pipelines are used for oil and gas transportation. Subsea pipeline is one of the long-distance infrastructure for oil and gas and the most efficient transportation for oil and gas production both from exploration on land, areas near the coast and on the deep sea with an effective and efficient method. Increasing gas needs also require the construction of subsea pipelines to transport it. Abadi gas field as a new source of gas for Indonesia which is needs some subsea pipelines as a transportation. The problem is, the sea bottom topography is quite deep and the influence of powerful earthquake in the area. From the calculation results for the pipe which is about 120 km from the Abadi gas field to the island of Selaru analyzed the frequency of earthquakes and their consequences for the pipeline. This study takes the effect of the earthquake with a certain magnitude variation of the pipes that lead to failure or buckling. From the calculation of risk for 20 years found that in the sandy soil decreased deeper than clay soil with a maximum settlement of up to 5.38 m and a length of the critical span ranged from 0 to 1 meter, while for the clay maximum settlement of up to 3.5 m in length critical span of 1 meter with consequence value below the sandy soil

Keywords : Risk Analysis, Subsea Pipeline, Abadi Gas Field, Earthquake, *Soil Liquefaction*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala karunia dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“ANALISIS RESIKO PIPA BAWAH LAUT DI LAPANGAN GAS ABADI AKIBAT GEMPA BUMI”**

Penyusunan tugas akhir ini dilakukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi sarjana (S-1) Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini membahas mengenai resiko pipa bawah laut terkait dengan pipa yang meletak di dasar laut dan daerah yang ditinjau adalah daerah yang rawan gempa. Variasi gempa yang dimodelkan adalah dengan gempa destruktif yang berkisar antara skala 6-9 Mw dan juga memodelkan gempa berdasarkan radiusnya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan hal yang perlu disempurnakan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Semoga dengan penelitian ini, tugas akhir saya dapat bermanfaat bagi pembaca dan khususnya mahasiswa yang mengambil topik mengenai resiko, pipa bawah laut dan gempa.

Wabillahi taufiq wal hidayah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2016

Fadhila Rizky Findasari

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih teramat besar kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam segala proses penulisan laporan tugas akhir ini baik secara moril maupun materiil. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Allah SWT., yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta diberikannya nikmat sehat serta kelancaran sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.
2. Bapak dan Ibu yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materiil, doa, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik serta semangat menyelesaikan kuliah tepat waktu dan juga keluarga besar yang menjadi semangat terbesar dalam menyelesaikan studi.
3. Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing pertama yang selalu meluangkan waktu dan membimbing penulis dengan sabar sejak awal pengerjaan tugas akhir ini
4. Bapak Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing kedua yang sabar dalam membimbing penulis dan disiplin mengoreksi laporan tugas akhir saya hingga detail terkecil.
5. Bapak Murdjito, M.Sc.Eng selaku dosen wali penulis yang selalu membimbing dalam segi akademis selama masa perkuliahan serta membantu penulis dalam proses mencari tempat kerja praktik hingga penulis dapat menyelesaikan studi tepat waktu.
6. PT. Dinamika Teknik Persada, khususnya kepada Bapak Hermas dan Mbak Esti selaku direktur perusahaan dan mentor saya selama kerja praktik. Penulis berterimakasih atas ilmu dan data yang telah diberikan sehingga mempermudah penulis dalam menyelesaikan tugas akhir
7. Kepada teman-teman terdekat penulis Tiara Sharifa, Maria P. Rosari, Noni Nabila, Salomo P. Sihombing, Nurlita Adisty dan Kautsar Segaramada yang selalu mendukung dalam mengerjakan tugas akhir ini hingga selesai.

8. Kepada semua teman-teman yang telah memberikan kelancaran transportasi kepada penulis selama masa perkuliahan. Penulis mengucapkan banyak terima kasih sehingga penulis dapat mengikuti perkuliahan dengan lancar terkhusus kepada Salomo, Maria, Rainhart, Lita dan Zain.
9. Kepada teman-teman satu bimbingan Bapak Yeyes dan Bapak Dodot yang selalu mendukung satu sama lain sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini bersama-sama.
10. Keluarga besar Varuna (2012), yang saling mendukung satu sama lain dan memberikan semangat tiada henti.
11. Seluruh pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis ucapkan satu persatu.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR PERSAMAAN.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan	4
1.4. Manfaat	5
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori	9
2.2.1. Konsep Umum.....	9
2.2.2. Beban pada Pipa Bawah Laut	10
2.2.2.1. Teori Pembebanan	10
2.2.2.2. Kondisi Pembebanan	11
2.2.3. Analisis Stabilitas Pipa Bawah Laut	12
2.2.3.1. Analisis Tegangan Ijin	12
2.2.3.2. Analisis Tegangan pada Pipa	12
2.2.3.2.1. Komponen Tegangan Normal	12
2.2.3.2.2. Komponen Tegangan Geser	15

2.2.3.3. Gaya Hidrodinamis	15
2.2.3.4. Analisis Pengaruh Seismik pada Pipa	16
2.2.4 Soil Liquefaction	18
2.2.5 Metode Estimasi Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi.....	19
2.2.5.1 Earthquake Induced Liquefaction	19
2.2.5.2 Wave-Induced Liquefaction.....	22
2.2.6. Bentangan bebas (<i>free-span</i>)	23
2.2.6.1 Panjang kritis <i>free-span</i>	25
2.2.6.2 <i>Reduced Velocity</i>	26
2.2.6.3 Frekuensi Natural	26
2.2.6.4 Massa Efektif	26
2.2.7. <i>Weight Submerged</i>	27
2.2.8. <i>Buckling</i>	29
2.2.9. Lapangan Gas Abadi (Blok Masela)	30
2.2.10 Gempa Bumi	31
2.2.11 Analisis Resiko	36
2.2.11.1 Jenis-jenis analisis resiko	39
2.2.11.2 Simulasi Montecarlo	39
2.2.12 Resiko pada Pipa Bawah Laut	40
2.2.12.1 Identifikasi bahaya	41
2.2.12.2 Moda Kegagalan	42
2.2.12.3 Risk Assessment	43
2.2.12.4 Matriks Resiko	43
2.2.13 Analisis data tanah	45
2.2.13.1 Klasifikasi data tanah	45
2.2.13.2 Pengelompokkan nama tanah	46
2.2.13.3 Data tanah berdasarkan SPT Corelation	48
2.2.14 Liquefy4	48
2.2.15 Analisis <i>freespan</i> dinamis.....	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	53
3.1. Diagram Alir	53
3.2. Prosedur Penelitian	54

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	56
4.1. Pengumpulan Data	56
4.2. Analisis Stabilitas Pipa	63
4.2.1. Stabilitas Vertikal	63
4.2.2. Stabilitas Lateral	63
4.3 Analisis tegangan internal pipa	64
4.4 Soil Liquefaction	65
4.4.1. <i>Wave-induced Liquefaction</i>	65
4.4.2. <i>Earthquake-induced Liquefaction</i>	67
4.5 Perhitungan bentangan bebas (free-span) dan <i>local buckling</i>	69
4.5.1. Penentuan zona gempa	69
4.5.2. Penentuan panjang span kritis	70
4.5.3. Prediksi kondisi pipa	71
4.6 Analisis Resiko	76
4.6.1. Menghitung besar frekuensi kegagalan.....	76
4.6.2. Menghitung konsekuensi kegagalan	76
4.6.3. Menghitung ranking frekuensi kegagalan	77
4.6.4. Menghitung ranking konsekuensi kegagalan	78
4.6.5. Penyusunan matriks resiko.....	80
BAB V PENUTUP	82
5.1. Kesimpulan	82
5.2. Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

1.1. Lokasi Lapangan Gas Gas Abadi Masela	2
1.2. <i>Offshore Geohazards</i>	3
1.3. Potensi gempa di sekitar perairan di dekat Lapangan Gas Abadi	4
1.4. Skema jalur pipa	4
2.1 <i>Region of Validity</i>	11
2.2. Tegangan longitudinal tekan pada pipa	14
2.3. Tegangan tangensial atau tegangan keliling	14
2.4. Gaya-gaya yang bekerja pada pipa bawah laut.....	16
2.5. Ilustrasi ancaman akibat aktivitas seismik khususnya pada sistem perpipaan bawah laut.	17
2.6. <i>Free-Body Diagram</i> pada pipa akibat beban tanah	17
2.7. Ilustrasi <i>earthquake-induced liquefaction</i>	19
2.8. Hubungan antara kedalaman z dan rd.....	21
2.9. Modulus reaksi dasar tanah	22
2.10. <i>Freespan</i> pada pipa bawah laut (Yong Bai, 1981).....	24
2.11. Macam-macam kondisi <i>freespan</i>	25
2.12. <i>Free-span</i>	25
2.13. Penampang melintang pipa.....	29
2.14. Penampang pipa yang terdeformasi akibat beban (Bai, 2005)	29
2.15. Lokasi lapangan gas Abadi	30
2.16. Gempa bumi pada dasar laut yang berakibat Tsunami	32
2.17. Matriks Resiko menurut AS/NZS 4360:2004 dan DNV RP-F-116	44
2.18. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS	46
2.19. <i>Soil Texture Triangle</i>	47
3.1. Diagram Alir.....	50
4.1. Profil kedalaman laut lokasi studi	55
4.2. (a) Hubungan kedalaman laut dengan faktor keamanan pada kedalaman 600 m, (b) Hubungan kedalaman laut dengan faktor keamanan pada kedalaman 60 m, (c) Hubungan kedalaman laut dengan faktor keamanan pada kedalaman 6 m.....	64

4.3. Hubungan penurunan tanah dengan besar gempa berdasarkan metode <i>earthquake-induced liquefaction</i>	65
4.4. Ilustrasi bentangan pipa pada tanah berpasir	75
4.5. Ilustrasi bentangan pipa pada tanah lempung	75

DAFTAR TABEL

2.1. Batasan Tegangan Yang Bekerja Pada Pipa (ASME B31.8)	12
2.2. Kriteria Magnitude Gempa	33
2.3. Pembagian Zona Gempa	34
2.4. Frekuensi Ranging Pada Pipa Bawah Laut (Kegagalan Tahunan)	40
2.5. Possible External Hazard (DNV RP-F-107)	40
2.6. Ranging Probabilitas (IPC, 2006)	41
2.7. Korelasi $N-\phi$	48
2.8. <i>SPT Corelation for Cohesive Soil</i>	48
2.9. <i>SPT Corelation for Cohesionless Soil</i>	48
4.1 Data <i>Properties</i> Pipa	53
4.2 Data Pipa kondisi Operasi	54
4.3 Data Kedalaman dan Pasang Surut	54
4.4 Data Profil Lokasi Studi : Abadi Gas Field	55
4.5 Profil Kedalaman Laut Lokasi Studi : Abadi Gas Field	55
4.6 Komposisi tanah pasir	56
4.7 Komposisi tanah lempung	56
4.8 Data gempa selama 100 tahun	57
4.9 Hasil perhitungan stabilitas vertikal	60
4.10 Hasil perhitungan stabilitas lateral	61
4.11 Pembagian kedalaman laut	61
4.12 Hasil perhitungan tegangan internal pipa	61
4.13 Hasil perhitungan <i>wave-induced liquefaction</i>	62
4.14 Hasil pemodelan pada Liquefy4	65
4.15 Pembagian zona gempa	66
4.16 Hasil perhitungan penurunan tanah pada kedalaman maksimum	66
4.17 Hasil perhitungan momen tekuk berdasarkan panjang bentangan	67
4.18 Pembagian kondisi gempa	68
4.19 Kondisi A (a) Panjang bentangan pada tanah pasir (b) Panjang bentangan pada tanah lempung	69
4.20 Kondisi B (a) Panjang bentangan pada tanah pasir (b) Panjang bentangan	

pada tanah lempung	70
4.21 Kondisi C (a) Panjang bentangan pada tanah pasir (b) Panjang bentangan pada tanah lempung	71
4.22 Kondisi A (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung	72
4.23 Kondisi B (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung	72
4.24 Kondisi C (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung	73
4.25 Kondisi A (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung	74
4.26 Kondisi B (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung	74
4.27 Kondisi C (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung	75
4.28 Kondisi A (a) Matriks resiko pada tanah pasir (b) Matriks resiko pada tanah lempung	76
4.29 Kondisi B (a) Matriks resiko pada tanah pasir (b) Matriks resiko pada tanah lempung	76
4.30 Kondisi C (a) Matriks resiko pada tanah pasir (b) Matriks resiko pada tanah lempung	77

DAFTAR PERSAMAAN

2.1. Rumus Tegangan Aksial	13
2.2. Rumus Luas Permukaan Pipa	13
2.3. Rumus Tegangan Tekuk (Bending Stress).....	13
2.4. Rumus Momen Inersia	13
2.5. Rumus Tegangan Longitudinal	14
2.6. Rumus Tegangan Tangensial (Hoop Stress)	15
2.7. Rumus Tegangan Torsi	15
2.8. Rumus gaya angkat (<i>lift force</i>)	16
2.9. Rumus gaya drag (<i>drag force</i>)	16
2.10. Rumus gaya inersia (<i>inertia force</i>)	16
2.11. Rumus kekuatan geser tanah	18
2.12. Rumus tegangan efektif	18
2.13. Rumus <i>safety factor</i>	20
2.14. Rumus tegangan geser rata-rata	20
2.15. Faktor reduksi tegangan	20
2.16. Rumus CRR	21
2.17. Rumus <i>safety factor earthquake-induced liquefaction</i>	21
2.18. Rumus MSF	21
2.19. Rumus PGA	22
2.20. Rumus tegangan geser tanah	22
2.21. Rumus tekanan pori	23
2.22. Rumus CRR	23
2.23. Rumus <i>safety factor liquefaction</i>	23
2.24. Rumus panjang kritis free-span.....	26
2.25. Rumus <i>reduced velocity</i>	26
2.26. Rumus frekuensi natural	26
2.27. Rumus massa efektif	26
2.28. Rumus diameter total	27
2.29. Rumus diameter dalam pipa.....	27
2.30. Rumus diameter beton	27

2.31. Rumus momen inersia baja	27
2.32. Rumus momen inersia beton	27
2.33. Rumus <i>internal cross sectional area</i>	27
2.34. Rumus <i>steel area</i>	27
2.35. Rumus <i>internal coating weight</i>	27
2.36. Rumus <i>corrosion coating weight</i>	27
2.37. Rumus <i>concrete coating weight</i>	27
2.38. Rumus <i>steel weight</i>	27
2.39. Rumus <i>content weight</i>	28
2.40. Rumus <i>field joint weight</i>	28
2.41. Rumus <i>bouyancy per meter</i>	28
2.42. Rumus <i>bouyancy force per joint</i>	28
2.43. Rumus <i>submerged weight</i>	28
2.44. Rumus kriteria kegagalan pipa	42

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

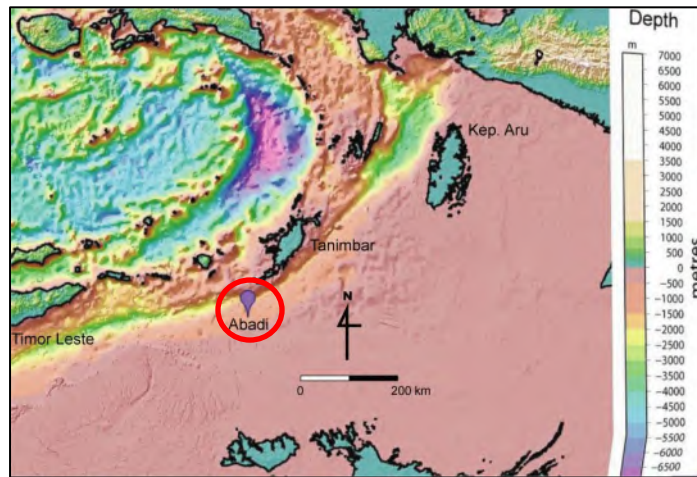
Energi dalam kebutuhan sehari-hari merupakan hal yang tidak bisa dipisahkan, khususnya minyak dan gas. Transportasi minyak dan gas saat ini umumnya menggunakan pipa bawah laut. Jalur pipa bawah laut merupakan salah satu infrastruktur transportasi jarak jauh untuk minyak dan gas yang paling efisien untuk pemindahan produksi minyak dan gas baik yang berasal dari eksplorasi di darat, daerah dekat pantai maupun dari laut dalam dengan metode yang efektif dan efisien.

Semakin banyak proyek instalasi pipa bawah laut yang ada pada saat ini diakibatkan oleh tingginya permintaan akan kebutuhan minyak dan gas. Panjang pipa yang di pasang pada dasar laut umumnya bukan dalam jarak yang pendek. Contohnya pada pipa milik PT Pertalahan Arnebatara Natuna pada platform Udang Alpha ke Udang Bravo sepanjang 7,760 km. (Riski, 2010)

Untuk memenuhi kebutuhan gas di seluruh Indonesia, blok-blok yang telah memasok kebutuhan gas diantaranya Arun, ONWJ, WMO dan Tangguh. Namun, sebagian besar aliran gas tersebut digunakan untuk masyarakat yang berdomisili di wilayah Jawa dan sekitarnya. Wilayah Timur yang dipasok oleh blok Tangguh dirasa belum mencukupi kebutuhan masyarakat di kawasan timur Indonesia. Diperkirakan, Lapangan Gas Abadi mampu memproduksi gas hingga 1.200 juta kaki kubik per hari (mmscfd). dirasa dapat mengakomodir kebutuhan masyarakat di Indonesia bagian Timur.

Lapangan Gas Abadi yang terletak Kabupaten Maluku Tenggara Barat adalah salah satu dari 25 blok yang berada di Maluku dan memiliki cadangan gas yang cukup banyak sehingga dapat menjadi salah satu pemasok gas di wilayah timur dan juga Indonesia. Beberapa gagasan telah diajukan oleh K3S (Kontraktor Kontrak Kerja Sama) namun, pemasangan

pipa bawah laut tidak termasuk rekomendasi karena dianggap wilayah yang rawan gempa sehingga investasi yang dikeluarkan tidak sebanding dengan gas yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran resiko adanya pipa bawah laut di daerah gempa khususnya lapangan gas Abadi.

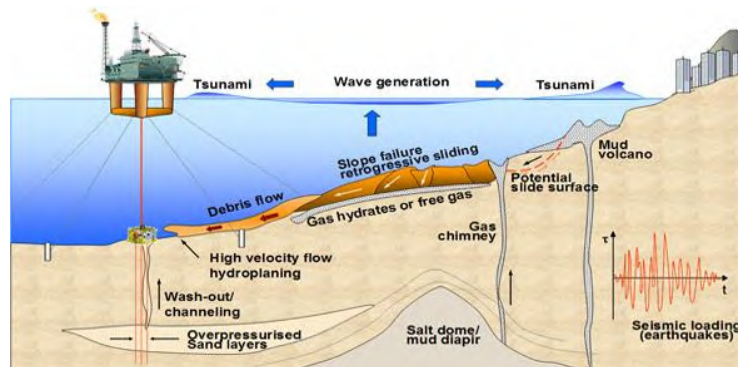


Gambar 1.1 Lokasi Lapangan Gas Gas Abadi Masela

Indonesia yang merupakan *ring of fire* membuat Indonesia menjadi geografi yang rawan oleh bencana, khususnya gempa bumi. Oleh karena itu, untuk instalasi pipa bawah laut di Indonesia rawan terjadi aktivitas geologi yang membahayakan (*geohazard*). *Geohazard* sendiri adalah suatu fenomena fisik lingkungan seperti gempa bumi, tanah longsor, pergeseran tanah, aktivitas seismik, dan lain lain yang dapat mengancam keberadaan struktur buatan manusia. (Hanimadhani, 2011). Akibat dari *geohazard* ini dapat mengakibatkan resiko kegagalan pada pipa ringan ataupun berat seperti terhentinya distribusi pipa. Selain itu, dampak dari gempa bumi adalah potensi terjadinya tsunami seperti yang diungkapkan oleh Budiono (2011). Longsoran bawah laut sering memicu terjadinya tsunami atau gelombang laut besar berkecepatan tinggi di daerah longsor yang dapat mencapai jarak tempuh sangat jauh. Longsoran ini tidak selalu menyebabkan bencana dan tidak juga selalu berasosiasi dengan badai dan gempa bumi. Beberapa di antaranya terjadi di daerah sempit dan hanya disebabkan oleh gravitasi. Berbeda dengan mekanisme longsor di

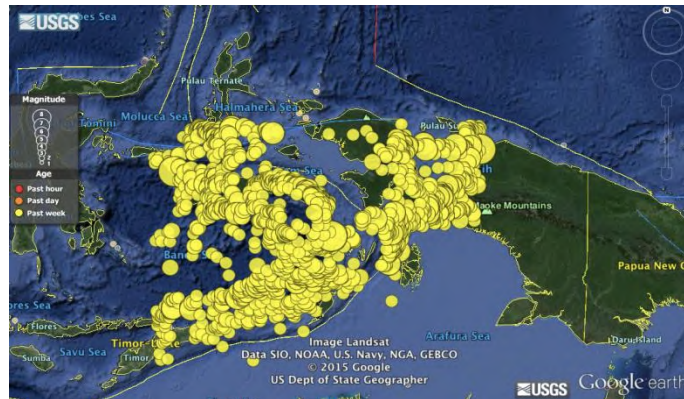
daratan yang pada umumnya disebabkan oleh kejenuhan air pada tanah, penyebab longsor bawah laut jauh lebih kompleks.

Pemasangan pipa bawah laut (*subsea pipeline*) pada kondisi tanah di Lapangan Gas Abadi memiliki yang rawan gempa memiliki beberapa resiko yang mungkin terjadi akibat ketidakstabilan tanah yang menopang pipa bawah laut.

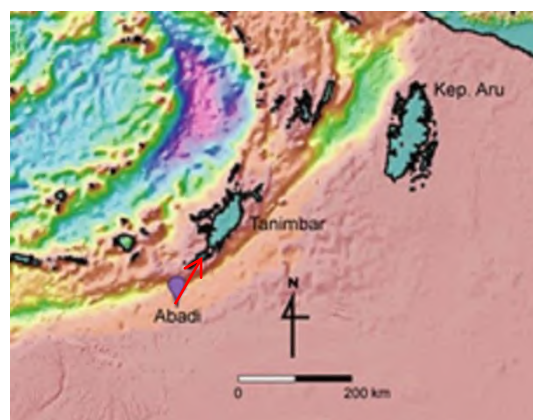


Gambar 1.2. *Offshore Geohazards*

Blok gas Abadi adalah daerah yang rawan gempa. Berdasarkan data *US Geological Survey* (USGS), daerah sekitar Lapangan Gas Abadi di Laut Arafuru, Maluku merupakan wilayah dengan frekuensi gempa tinggi. Sesuai data tersebut, pada periode 1900 hingga 2013 tercatat kejadian gempa di sekitar Masela sebanyak 2.248 kali dengan kekuatan antara skala 6-9 Mw dan kedalaman 300 km. Banyak perdebatan yang terjadi mengenai pembangunan jalur pipa karena membutuhkan jarak yang tidak pendek. Jarak yang ditempuh paling pendek adalah ke Pulau Selaru dengan jarak 69 km dan alternatif lainnya adalah mengalirkan ke Kepulauan Aru yang berjarak 600 km dari blok Abadi itu sendiri.



Gambar 1.3. Potensi gempa di sekitar perairan di dekat Lapangan Gas Abadi (USGS, 2013)



Gambar 1.4. Skema jalur pipa

1.2 Perumusan Masalah

1. Apakah fenomena yang terjadi saat pipa terkena gempa?
2. Berapa besar tegangan pipa bawah laut yang terjadi akibat gempa?
3. Berapakah frekuensi dan konsekuensi yang terjadi?
4. Berapakah tingkat resiko yang terjadi?

1.3 Tujuan

1. Mendapatkan tegangan pada pipa bawah laut akibat gempa bumi.
2. Menghitung frekuensi gempa dan konsekuensi pada pipa serta pengaruhnya.
3. Mengetahui tingkat resiko dari analisis pipa bawah laut akibat gempa bumi.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan akan memberikan gambaran mengenai resiko pipa bawah laut yang mungkin terjadi di Lapangan Gas Abadi dengan kondisi tanah.

1.5 Batasan Masalah

1. Pipa yang digunakan adalah data pipa kepemilikan dari Pearl Oil dengan diameter 14”.
2. *Standard codes* yang digunakan adalah DNV OS F-101, DNV RP F-109, ASME B31.8 dan API 5L serta buku-buku dan referensi terkait.
3. Pipa tidak mengalami cacat dan kebocoran.
4. Kejadian gempa bumi disimulasikan pada pipa dalam kondisi operasi.
5. Pipa disesuaikan dengan karakteristik tanah lempung dan pasir
6. Pipa disimulasikan ke pulau dengan jarak terdekat yaitu ke Pulau Selaru dengan jarak 120 km
7. Perhitungan moda kegagalan menggunakan metode Monte Carlo
8. Pipa diletakkan pada *seabed* tanpa dilakukan penguburan dan tidak dilindungi oleh matras dan lain-lain
9. Perhitungan beban gempa dimodelkan pada panjang bentangan maksimum berdasarkan penurunan tanah yang terjadi
10. Resiko pada pipa bawah laut dihitung di kedalaman 600 m
11. *Wave-induced liquefaction* hanya mengukur apakah daerah tersebut mengalami likuifaksi tanpa menghitung kedalaman *scouring*.
12. Perhitungan tekanan eksternal tidak memperhitungkan parameter seperti arus dan gelombang karena nilainya sangat kecil akibat pengaruh kedalaman.
13. Momen tekuk dihitung menggunakan pendekatan dinamis akibat pengaruh gempa (*vortex-induced vibration*)

1.6 Sistematika Penulisan

- Pendahuluan

Bab ini menjelaskan dengan latar belakang yang mengawali pembuatan tugas akhir, perumusan masalah yang akan dibahas, tujuan dari penelitian, manfaat yang akan didapatkan dari penelitian tersebut, batasan masalah penelitian serta sistematika penulisan penelitian.

- Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Dalam penulisan Tinjauan Pustaka, pedoman yang diambil sebagai referensi adalah hasil penelitian-penelitian, jurnal dan buku yang terkait dengan topik yang dibahas pada Tugas Akhir ini. Sedangkan, pada bab Dasar Teori dibahas teori-teori yang berkaitan yang bersumber berasal dari buku-buku, jurnal dan penelitian terkait disertai ilustrasi.

- Metodologi Penelitian

Pada bab ini, dijelaskan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir dan metode-metode yang digunakan selama pengerjaan.

- Analisis dan Pembahasan

Pada bab ini membahas mengenai perhitungan tegangan pada pipa, perhitungan beban gempa, *earthquake-induced liquefaction*, *wave-induced liquefaction*, dan analisis resiko yang dilakukan dengan menghitung frekuensi dan konsekuensi.

- Penjelasan penulisan bab Kesimpulan dan Saran

Penulisan bab Kesimpulan dan Saran adalah bab yang meringkas poin-poin dari hasil penelitian Tugas Akhir dan saran yang perlu dilakukan untuk mengembangkan penelitian ini kedepannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada perancangan pipa bawah laut, banyak sekali pertimbangan yang perlu diperhatikan. Fungsi dari pipa sebagai transportasi minyak dan gas sangat dibutuhkan dan pada umumnya kecil risikonya. Pipa dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menghadapi kondisi bawah laut yang beragam. Penelitian analisis risiko terhadap pipa banyak divariasikan oleh beberapa faktor yang mempengaruhinya. Salah satunya akibat pengaruh gempa bumi yang terjadi di bawah laut. Pada penelitian kali ini dilakukan analisis risiko pada pipa bawah laut yang terjadi akibat gempa bumi dan tingkat risikonya

Secara umum pipa bawah laut bisa diklasifikasikan sebagai berikut (Soegiono, 2007) :

1. Pipa yang mengalirkan minyak atau gas dari *satellite subsea wells* menuju *subsea manifolds*.
2. Pipa yang mengalirkan minyak atau gas dari *subsea manifolds* menuju ke *production facility platforms*.
3. Pipa yang mengalirkan minyak atau gas antar *production facility platforms*.
4. Pipa yang mengalirkan minyak atau gas dari *production facility platforms* menuju ke darat.
5. Pipa yang mengalirkan air atau bahan – bahan kimia dari *production facility platforms* melalui *subsea injection manifolds* menuju ke *injection wellheads*.

Rafika (2011) melakukan penelitian risiko terhadap pipa gas bawah laut di Teluk Jakarta akibat *soil liquefaction*. Dari penelitian tersebut di dapatkan perhitungan *peak ground acceleration* (α)_{max} sebesar 0,9983 dan dapat mengakibatkan *soil liquefaction* dengan Mw sebesar 6 hingga 7.

Soil liquefaction pada pipa bawah laut serta potensinya pada Selat Makassar di teliti oleh Aulia (2013) dengan menjadikan gempa bumi sebagai

penyebab *soil liquefaction*. Variasi dari skala Richter sebagai acuan untuk mengetahui seberapa jauh pipa dari pusat gempa akan tetap stabil dengan skala tertentu.

Peristiwa *geohazards* yang diteliti oleh Hanimadhani (2011) yang menyebabkan kegagalan pada pipa diakibatkan oleh gempa bumi. Penelitian yang dilakukan menggunakan pembagian ruas pada pipa untuk mendapatkan nilai maksimum rasio tegangan yang diakibatkan oleh *combine stress*. Namun, pada penelitian ini belum dilakukan perhitungan frekuensi kejadian.

Likuifaksi akan menjadi masalah serius bila menyebabkan terjadinya keruntuhan gedung sebagai akibat penurunan permukaan tanah selama guncangan gempa bumi. Penurunan permukaan tanah ini terjadi pada regangan yang relative kecil (*small-strain*) setelah likuifaksi (*postliquefaction*).

Firucha (2012) meneliti kegagalan pipa yang disebabkan oleh *soil liquefaction* karena gempa bumi pada pipa milik Pertamina yang terletak di Jawa Timur menghubungkan pulau Pagerungan dan Porong (EJGP). Dari penelitian ini didapatkan hasil dengan variasi kekuatan gempa sebesar 6, 6.6, dan 7 Mw dapat menyebabkan *settlement* dan dilakukan mitigasi resiko berupa penambahan *stone column* sebagai *support* nya.

Lapangan Abadi sebagai tempat dimana pipa akan disimulasikan, dikaji oleh Sunarjanto (2012) dan didapatkan hasil bahwa cekungan Arafura berpotensi mengandung gas dan reservoirnya berjenis *tight reservoir*. Memiliki *source rock* dan batuan tudung (*seal*). Maka, lapangan Abadi memiliki potensi hidrokarbon namun perlu kaji ulang.

Stabilitas pada pipa bawah laut pada dasar laut yang terlikuifaksi yang dikaji oleh Teh, Palmer, Bolton dan Damgaard (2006) menguji tentang perbandingan antara perhitungan stabilitas pipa menggunakan eksperimen dan perhitungan analitis yang mengacu pada DNV RP-E305

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 300.K/38/M.PE/1997 mengenai Keselamatan Kerja Pipa Penyalur Minyak Dan Gas Bumi pada pasal 13 disebutkan bahwa :

Pipa Penyalur yang digelar di laut wajib memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a. Dalam hal kedalaman dasar laut kurang dari 13 meter maka pipa harus ditanam sekurang kurangnya 2 (dua) meter di bawah dasar laut (*seabed*), serta dilengkapi dengan sistem pemberat agar pipa tidak tergeser atau berpindah, atau disanggah dengan pipa pancang.
- b. Dalam hal kedalaman dasar laut 13 (tigabelas) meter atau lebih maka pipa dapat diletakkan di dasar laut, serta dilengkapi dengan sistem pemberat agar pipa tidak tergeser atau berpindah.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Konsep Umum

Gempa Bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. (BMKG, 2014). Tidak bisa diprediksi kapan gempa bumi terjadi dan berapa besarnya sehingga gempa bumi bersifat sebagai kejadian tak terduga yang dapat membahayakan banyak aspek salah satunya stabilitas pipa bawah laut yang mengangkut hidrokarbon.

Permasalahan yang umumnya terjadi adalah kegagalan pada pipa bawah laut yang menyebabkan terhentinya operasi. Hal ini dapat menimbulkan bahaya pada beberapa faktor seperti faktor ekonomis dan faktor keselamatan. Penelitian ini juga bertujuan untuk meneliti seberapa besar pengaruh gempa hingga terjadinya kegagalan pada pipa.

Pipa bawah laut (*subsea pipeline*) merupakan salah satu transportasi fluida yang ekonomis dan tergolong aman dibandingkan moda transportasi lainnya. Pipa bawah laut juga rentan mengalami kegagalan jika terjadi beberapa penyebab salah satunya ialah gempa bumi pada skala tertentu. Pada penelitian kali

ini akan diuji pipa bawah laut yang berada pada lintasan gempa dan diteliti resiko yang terjadi akibat pengaruh tanah dan juga *magnitude* gempa yang terjadi di lapangan gas Abadi.

2.2.2. Beban pada Pipa Bawah Laut

2.2.2.1 Teori Pembebanan

Menurut Kenny (1993), beban yang bekerja pada pipa dibagi menjadi 2 kategori, antara lain :

a. *Functional Load*

Beban fungsional ini merupakan beban yang bekerja pada pipa sebagai akibat dari keberadaan pipa itu sendiri tanpa dipengaruhi oleh beban lingkungan. Beban fungsional antara lain adalah beban dari berat pipa itu sendiri, termasuk berat struktur baja pipa, berat lapisan anti korosi, lapisan selubung beton, beban akibat tekanan dalam yang diberikan pada pipa, beban akibat suhu yang cukup tinggi di dalam pipa, serta beban akibat sisa instalasi.

b. *Environmental Load*

Beban ini bekerja pada pipa akibat adanya kondisi lingkungan yang terjadi. Untuk beban pada pipa bawah laut, tentunya yang mempengaruhi adalah beban gelombang dan arus. Untuk mendapatkan data beban lingkungan yang tentunya bersifat acak, maka data yang digunakan untuk analisa adalah data dengan periode ulang (*return period*). Periode ulang merupakan data rata-rata beban yang terjadi.

Teori Gelombang untuk menentukan persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan partikel, kecepatan gelombang dan lain sebagainya menggunakan “Region of Validity” sesuai dengan parameter dari pipa itu sendiri.

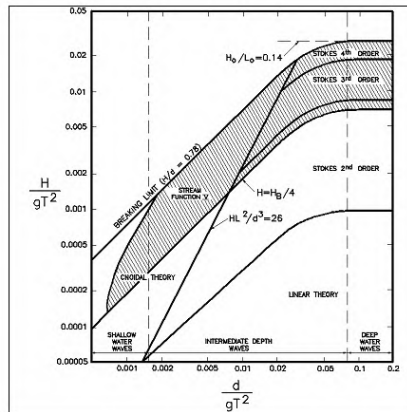


Figure 8-1-20. Ranges of suitability of various wave theories (Le Méhauté 1976)

Gambar 2.1. Region of Validity (Le Mehaute)

2.2.2.2. Kondisi Pembebanan

Selama umur operasi pipa bawah laut, ada 3 jenis kondisi pembebanan, antara lain (Kenny, 1993) :

a. Instalasi

Beban yang bekerja pada pipa saat kondisi ini antara lain : beban gelombang dan arus serta beban dari berat pipa itu sendiri. Tegangan yang terjadi pada kondisi ini dipengaruhi oleh metode instalasi yang digunakan.

b. Hydrotest

Kondisi *hydrotest* dilakukan untuk menguji kekuatan pipa dengan memberikan tekanan yang besar kedalam pipa. Beban yang mempengaruhi adalah tekanan dalam pipa (*internal pressure*) dan tentunya berat pipa yang bertambah akibat adanya air laut.

c. Operasi

Setelah instalasi dan *hydrotest*, berikutnya adalah fase operasi, dimana pipa mulai digunakan untuk mengalirkan fluida yang ditentukan. Tekanan dalam yang serta temperatur yang sangat tinggi akan mempengaruhi formasi dan tegangan pada pipa.

2.2.3. Analisis Stabilitas Pipa Bawah Laut

2.2.3.1 Analisis Tegangan Ijin

Metode perhitungan dan analisa tegangan – tegangan serta gaya-gaya yang bekerja pada sistem pipa telah diatur mengikuti *code* tertentu sesuai dengan operasi dan kondisi sistem pipa tersebut. Dalam hal ini untuk pipa penyalur gas digunakan *code* ASME B31.8 2007 mengenai *Gas Transmission and Distributing Piping System*. Selain itu juga akan digunakan *code* lain yang bersesuaian dengan kondisi internal dan eksternal sistem pipa.

Sesuai dengan kode standar ASME B31.8 2007, maka terdapat batasan besarnya tegangan bekerja yang diijinkan pada sistem pipa baik pada saat instalasi maupun pada saat pipa beroperasi.

Berdasarkan *code* ini tegangan bekerja yang diijinkan pada sistem pipa penyalur adalah :

Tabel 2.1 Batasan tegangan yang bekerja pada pipa (ASME B31.8)

Location	Hoop Stress	Longitudinal Stress	Combined Stress
Pipeline	0,72 SMYS	0,8 SMYS	0,9 SMYS
Platform piping and risers	0,5 SMYS	0,8 SMYS	0,9 SMYS

2.2.3.2 Analisis Tegangan pada Pipa

Berdasarkan *code* DNV, tegangan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu: Tegangan Normal (*Normal Stress*) dan Tegangan Geser (*Shear Stress*).

2.2.3.2.1 Komponen Tegangan Normal

1. Tegangan Longitudinal (*Longitudinal Stress*).

Tegangan longitudinal adalah tegangan yang bekerja searah sumbu pipa. Tegangan longitudinal terdiri dari tegangan aksial (*axial stress*), tegangan tekuk

(*bending stress*) dan tegangan longitudinal tekan (*pressure stress*). Berikut uraian macam-macam tegangan longitudinal antara lain :

Tegangan aksial (σ_{ax}) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya aksial (F_{ax}) yang bekerja searah dengan sumbu pipa.

$$\sigma_{ax} = \frac{F_{ax}}{A} \quad (2.1)$$

$$A = \left(\frac{\pi(do^2 - di^2)}{4} \right) \quad (2.2)$$

Keterangan :

A = luas penampang pipa, mm²

d_o = diameter luar pipa, mm

d_i = diameter dalam pipa, mm

F_{ax} = gaya aksial sepanjang pipa, N/mm²

σ_{ax} = tegangan aksial, psi

Tegangan tekuk (σ_b) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh momen (M) yang bekerja diujung-ujung pipa.

$$\sigma_b = \frac{M \times c}{I} \quad (2.3)$$

$$I = \left(\frac{\pi(do^4 - di^4)}{64} \right) \quad (2.4)$$

Keterangan :

c = jarak dinding pipa ke sumbu netral, mm

d_i = diameter dalam pada pipa, mm

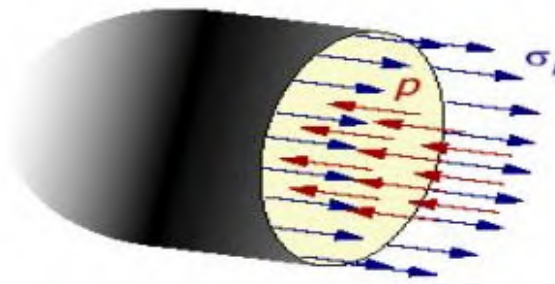
d_o = diameter luar pada pipa, mm

I = momen inersia penampang, kg/m²

M = moment pada ujung-ujung pipa, lb/in

σ_b = tegangan tekuk, psi

Tegangan longitudinal tekan (σ_{Lp}) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan internal (p) yang bekerja pada dinding pipa searah sumbu pipa.



Gambar 2.2 Tegangan longitudinal tekan pada pipa (Puja, 2011)

Rumus tegangan longitudinal tekan berdasarkan (ASME B31.8) adalah sebagai berikut :

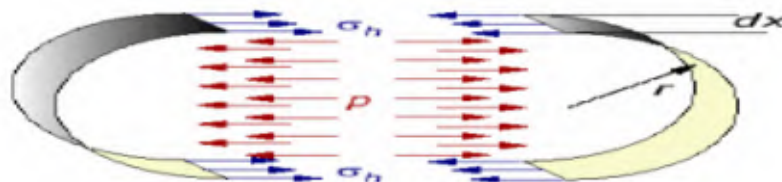
$$\sigma_{lp} = \frac{P A_i}{A_m} = \frac{P d_i^2}{(d_o^2 - d_i^2)} = \frac{P d_i^2}{4td_m} = \frac{Pd_o}{4t} \quad (2.5)$$

Keterangan :

- A_i = luas permukaan dalam pipa, mm
- A_m = luas rata-rata permukaan pipa, mm²
- d_o = diameter luar pipa, mm
- P = tekanan pada pipa, mm
- T = tebal pipa, mm
- σ_{lp} = tegangan longitudinal tekan, psi

2. Tegangan Tangensial (*Hoop Stress*)

Tegangan tangensial (σ_{sh}) ditimbulkan oleh tekanan internal yang bekerja secara tangensial dan besarnya bervariasi tergantung pada tebal dinding pipa.



Gambar 2.3 Tegangan tangensial atau tegangan keliling (Puja, 2011)

Rumus tegangan tangensial (*hoop stress*) berdasarkan (ASME B31.8) adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{Sh} = \frac{Pd_1L}{2tL} = \frac{Pd_1}{2t} = \frac{Pd_o}{2t} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- d_o = diameter luar pipa, mm
 P = tekanan pada pipa, psi
 t = tebal pipa, mm
 σ_{Sh} = tegangan tangensial (*hoop stress*), psi

3. Tegangan Ekvivalen (*Equivalent Stress*)

Tegangan ekivalen umumnya dinyatakan berbeda pada beberapa standar tertentu namun pada umumnya rumus nya adalah sebagai berikut :

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{Sh}^2 + \sigma_{lp}^2 - \sigma_{Sh}\sigma_{lp}}$$

Keterangan

- σ_e = *Equivalent stress*, psi
 σ_{Sh} = *Hoop stress*, psi
 σ_{lp} = *Longitudinal stress*, psi

2.2.3.2.2. Komponen Tegangan Geser

1. Tegangan Puntir atau Tegangan Torsi (*Torsional Stress*)

Tegangan puntir adalah tegangan yang terjadi pada suatu bentangan bahan dengan luas permukaan tetap yang dikenai suatu puntiran (*twisting*) pada setiap ujungnya dan bentangan benda tersebut dikatakan sebagai poros (*shaft*). Untuk suatu poros dengan panjang L dan jari-jari r dikenai torsi T dengan moment inersia polar J pada luas permukaan, tegangan geser torsional pada suatu jarak c dari sumbu poros luas permukaan adalah :

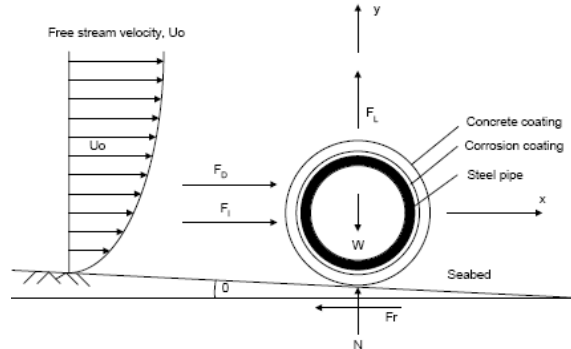
$$\sigma_t = \frac{Tc}{J} \quad (2.7)$$

Keterangan :

- σ_t = tegangan geser torsional, psia
 J = moment inersia polar, kg/m^2
 c = jarak dari sumbu poros, m
 T = torsi, lb/in

2.2.3.3 Gaya Hidrodinamis

Gaya hidrodinamis sangat berpengaruh pada kestabilan struktur. Gaya hidrodinamis yang mengenai pipa antara lain gaya drag (*drag force*), gaya inersia (*inertia force*) dan gaya angkat (*lift force*).



Gambar 2.4. Gaya-gaya yang bekerja pada pipa bawah laut (Mouselli, 1981)

Rumus menghitung beban hidrodinamis (DNV RP-C-205 *Environmental Conditions and Environmental Load*) :

- Rumus gaya angkat (*lift force*)

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2 \quad (2.8)$$

- Rumus gaya drag (*drag force*)

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2 \quad (2.9)$$

- Rumus gaya inersia (*inertia force*)

$$F_I = \frac{\pi D^2}{4} \rho C_M \quad (2.10)$$

Keterangan

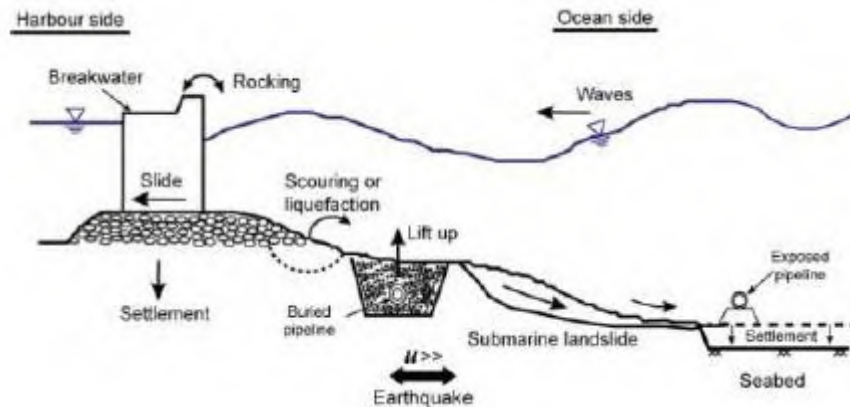
F_D = Gaya drag (N/m)

F_I = Gaya inersia (N/m)

F_L = Gaya lift (N/m)

2.2.3.4. Analisis pengaruh seismik pada pipa

Tingginya pengaruh seismik pada daerah blok Abadi membuat resiko kegagalan pada pipa semakin besar. Banyak sekali faktor yang mempengaruhi seperti ilustrasi dibawah ini :

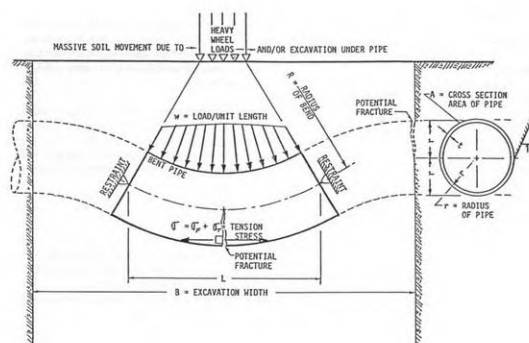


Gambar 2.5. Ilustrasi ancaman akibat aktivitas seismik khususnya pada sistem perpipaan bawah laut.

Menurut ASME, batas dari tegangan akibat beban yang terjadi tidak boleh melebihi 80% nilai dari SMYS. Sedangkan menurut DNV, beban gempa masuk kedalam beban bencana dan beban lingkungan tergantung dari probabilitas gempa. Pada pipa yang tidak terkubur (*unburied pipeline*), desain dari gempa umumnya berbentuk time-history ground motion atau desain respon spektra. Analisis ground-wave terdiri dari *static analysis*, *response spectra* dan *time-history analysis*. (Bai, 2001).

Akibat dari pengaruh gempa, banyak sekali kegagalan pada pipa yang mungkin terjadi seperti yang ditulis dalam DNV OS-F-101 :

- Local buckling* dan *collapse* akibat pergerakan permukaan dari seabed
- Kegagalan dari *gravel supports*
- Terjadinya ancaman *mud-slides* pada pipa



Gambar 2.6. Free-Body Diagram pada pipa akibat beban tanah

2.2.4. Soil Liquefaction

Soil Liquefaction adalah suatu fenomena alam yang biasa mengikuti kejadian gempa bumi. Pada kondisi ini, tanah jenuh air (saturated) akan kehilangan kekuatan gesernya (shear strength). Hilangnya kekuatan geser ini akibat berkurangnya tegangan efektif (σ') hingga mendekati 0, akibat naiknya tekanan air pori tanah (pore water pressure = u) pada saat gempa bumi.

$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi \quad (2.11)$$

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.12)$$

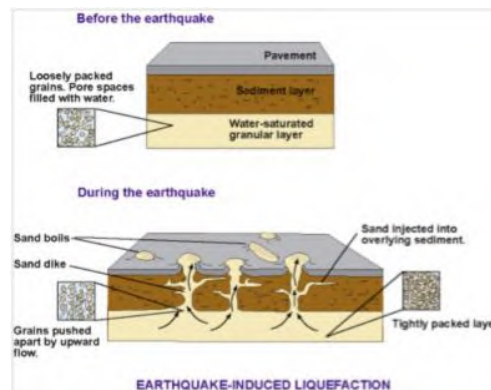
Keterangan :

τ	:	Kekuatan geser tanah
σ'	:	Tegangan efektif
σ	:	Tegangan total (berat permukaan tanah)
u	:	Tekanan pori air

Modulus geser pasir menurun bersamaan dengan turunnya tegangan efektif. kekuatan geser pasir menurun dengan (tegangan efektif) $\tan \Phi$. Dengan begitu tanah berpasir menjadi melunak (mencair). Pada kasus yang ekstrim, tegangan efektif menjadi nol. Tegangan efektif adalah ketika terjadi adanya gaya kontak antar butiran pasir. Tegangan efektif nol menyatakan tidak adanya gaya kontak tersebut. Sehingga butiran pasir benar-benar mengapung bebas dalam air. Sehingga pasirpun menjadi seperti mencair. Oleh karenanya, ketika hal itu terjadi maka tanah tersebut tidak mampu menopang beban di atasnya dan menyebabkan ambblasnya bangunan, miring ataupun longsor. (Aulia, 2013)

2.2.5. Metode Estimasi Potensi Likuifaksi

2.2.5.1. Earthquake Induced Liquefaction



Gambar 2.7 Ilustrasi *earthquake-induced liquefaction*

Prinsip dasar dalam evaluasi likuifaksi tanah adalah menghitung dua variabel utama yaitu (1) perilaku seismik tanah atau *cyclic stress ratio* (CSR) yang merupakan tegangan siklik yang menyebabkan likuifaksi dan (2) kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi atau *cyclic resistance ratio* (CRR). Estimasi nilai CRR pada tanah berpasir dapat dihitung dengan menggunakan data lapangan dapat didasarkan pada data hasil uji penetrasi standar atau standard penetration test (SPT) dan uji sondir atau cone penetration test (CPT).

Masing-masing jenis pengujian tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Namun diantara ketiga metode tersebut, metode CPT memiliki kualitas data yang sangat baik (Youd dan Idriss, 2001; Robertson, dan Wride, 1998). Metode untuk mengevaluasi potensi likuifaksi adalah dengan cara mendapatkan nilai faktor keamanan (*safety factor*, SF) dari hasil perbandingan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yaitu nilai yang mencerminkan kekuatan tanah terhadap beban siklis yang biasanya diakibatkan oleh beban gempa bumi dengan CSR (*Cyclic Stress Ratio*) yaitu nilai tegangan yang disebabkan oleh gempa bumi. Faktor keamanan yang digunakan tidak boleh kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifaksi. Berikut sedikit diilustrasikan oleh sebuah persamaan :

$$FSS = \frac{CRR}{CSR} \quad (2.13)$$

dimana :

$FS \geq 1$ = tidak terjadi likuifaksi

$FS \leq 1$ = terjadi likuifaksi

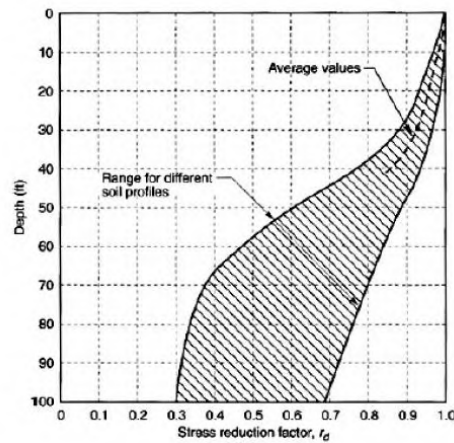
CSR (*Cyclic Stress Ratio*) merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif di tiap lapisan. Nilai CSR pada suatu lapisan tanah sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa. Dengan menganggap nilai percepatan rata-rata akibat gempa adalah 0,65 dari percepatan maksimum, maka nilai tegangan geser rata-rata dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \quad (2.14)$$

- α_{max} = percepatan maksimum dipermukaan tanah, (m/s²)
- g = percepatan gravitasi bumi, (m/s²)
- σ_v = tegangan vertikal total, (N/m²)
- $\sigma_{v'}$ = tegangan vertikal efektif, (N/m²)
- r_d = faktor reduksi terhadap tegangan

$$r_d = \begin{cases} 1 - 0,00765z & \text{untuk } z < 9,15 \text{ m} \\ 1,174 - 0,0267z & \text{untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m} \\ 0,744 - 0,008z & \text{untuk } 23 < z \leq 30 \text{ m} \\ 0,5 & \text{untuk } z > 30 \text{ m} \end{cases} \quad (2.15)$$

Faktor reduksi (r_d) adalah faktor pengurangan tegangan yang merupakan fungsi kedalaman (z). Hubungan kedalaman z dan nilai r_d ini, menurut Seed dan Idriss (1971) seperti pada gambar dibawah ini. Secara analitik hubungan tersebut dapat didekati dengan fungsi seperti dituliskan pada persamaan :



Gambar 2.8 Hubungan antara kedalaman z dan r_d

Sedangkan untuk evaluasi CRR terdapat beberapa usulan, namun dalam *National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) Workshop* pada tahun 1996 (Youd dan Idriss, 2001) digunakan pendekatan yang dibuat oleh Robertson dan Campanella (1985) dengan beberapa perbaikan.

$$CRR_{7.5} = \begin{cases} 0,833 \cdot \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 & \text{untuk } (q_{c1N})_{cs} < 50 \\ 93 \cdot \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 & \text{untuk } 50 < (q_{c1N})_{cs} < 160 \end{cases} \quad (2.16)$$

Selanjutnya faktor keamanan (FSL) terhadap likuifaksi dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$FS = \left(\frac{CRR}{CSR} \right) MSF \quad (2.17)$$

Dengan MSF adalah faktor pengali besar gempa (*magnitude scaling factor*) yaitu faktor pengali besar gempa dalam skala momen $M_w = 7,5$ agar setara dengan CRR untuk gempa.

Besarnya MSF yang diusulkan dalam Youd dan Idriss (2001) seperti dituliskan pada persamaan :

$$MSF = \frac{174}{M_w^{2,56}} \quad (2.18)$$

Percepatan gempa adalah percepatan batuan dasar yang timbul akibat adanya gempa. Rumus percepatan gempa adalah sebagai berikut :

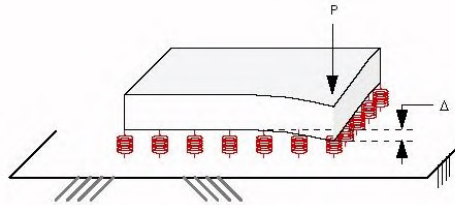
$$\log PHGA = (-1,02) + (0,249 M) - \log R - 0,00255R \quad (2.19)$$

Keterangan

M = Besaran gempa yang terjadi (M_w)

R = Radius gempa dari titik yang ditinjau

Pengaruh *soil liquefaction* dapat menyebabkan penurunan tanah (*settlement*) yang berpengaruh pada pipa bawah laut. Diperlukan analisis kekakuan tanah (*soil stiffness*), beban gempa atau tanah (*pressure*) dan juga pengaruhnya terhadap penurunan tanah. Ini disebut modulus reaksi tanah dasar. *Subgrade modulus reaction* adalah hubungan konseptual antara tekanan tanah dengan defleksi (Bowles, 1996).



Gambar 2.9 Modulus reaksi dasar tanah

2.2.5.2. Wave Induced Liquefaction

Serupa dengan *earthquake-induced liquefaction*, perbedaan yang utama adalah gelombang yang menyebabkan terjadinya likuifaksi pada tanah. CSR (Cyclic Stress Ratio) merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gelombang dengan tegangan vertikal efektif di tiap lapisan. Nilai CSR (Cyclic Stress Ratio) pada suatu lapisan tanah sangat dipengaruhi oleh nilai kekuatan dan jenis tanah. Menurut Nataraja dan Gill, tegangan geser adalah sebagai berikut :

$$\tau = \frac{2Pxz^2}{\pi(x^2+z^2)^2} \quad (2.20)$$

Keterangan :

P = Distribusi tekanan pori
x, z = Arah x dan z (titik yang ditinjau)

Rumus untuk menghitung tekanan pori adalah sebagai berikut :

$$p = \frac{\rho g H}{2} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+d)}{L}}{\cosh \frac{(2\pi d)}{L}} \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \right] \quad (2.21)$$

Sementara itu, untuk menghitung Cyclic Resistance Ratio (CRR) adalah sebagai berikut :

$$CRR = \frac{\pi \frac{\rho_w}{\rho'} \frac{H_o}{L_o}}{\sinh \left(\frac{2\pi h}{L} \right) \sqrt{\tanh \left(\frac{2\pi h}{L} \right) \cdot \left(1 + \frac{\frac{4\pi}{L}}{\sinh \left(\frac{4\pi}{L} \right)} \right)}} \quad (2.22)$$

Untuk faktor keamanan untuk likuifaksi tanah adalah sebagai berikut :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (2.23)$$

2.2.6. Bentangan bebas (*Free Span*)

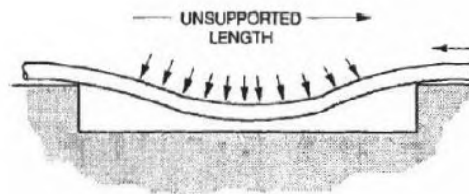
Free span pada pipa bawah laut dapat terjadi ketika kontak antara pipa dan *seabed* hilang dan memiliki jarak pada permukaan *seabed*. *Free span* dapat menyebabkan kegagalan pipa karena unggul berlebihan dan kelelahan. Mungkin juga menyebabkan gangguan aktivitas manusia seperti memancing. *Free span* dapat terjadi karena berat didukung dari bagian pipa dan beban dinamis dari gelombang dan arus. Ketika cairan mengalir di pipa, aliran memisahkan, vortisitas adalah gudang, dan periodic bangun terbentuk. Setiap kali pusaran ditumpahkan itu mengubah distribusi tekanan lokal, dan pipa mengalami gaya waktu bervariasi pada frekuensi *vortex shedding*. di bawah kondisi resonansi, osilasi berkelanjutan dapat bersemangat dan pipa akan beresilasi pada frekuensi. Osilasi ini akan kelelahan pipa dan akhirnya dapat menyebabkan bencana kegagalan. Osilasi ini biasanya sejalan dengan arah aliran tapi bisa melintang (*cross-flow*), tergantung pada kecepatan arus dan panjang bentang. (Guo, 2005).

Pada pipa, freespan juga dapat terjadi akibat (DNV RP-F-105) :

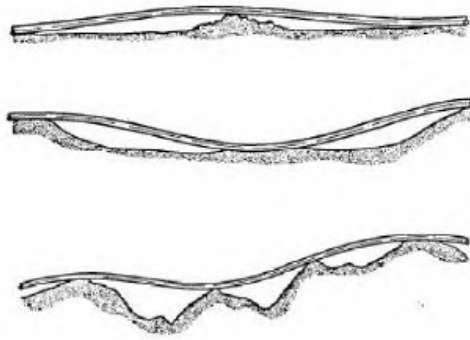
- Seabed unevenness* (ketidakrataan muka dasar laut)
- Change of seabed topology (e.g. scouring, sand waves)* (Perubahan

- topologi muka dasar laut seperti penggerusan dan gelombang pasir)
- c. *Artificial supports/rock beams etc.* (Penyangga buatan dan bebatuan)
 - d. *Strudel scours.*

Analisis *freespan* akan menghasilkan berapa panjang *freespan* yang diijinkan agar tegangan yang terjadi pada *freespan* tidak melebihi tegangan *yield* material pipa. Aliran dari gelombang dan arus yang timbul di sekitar pipa, timbul pusaran yang menghasilkan distribusi tekanan. Pusaran ini menghasilkan osilasi/getaran pada pipa. Jika frekuensi dari pusaran ini mendekati frekuensi natural pipa, maka terjadi resonansi, dan inilah yang menyebabkan kelelahan pada pipa (Yong Bai, 1981) *Free span* pada pipa dapat menyebabkan kegagalan jika terjadi *yielding* dan *fatigue*. Ini juga dapat disebabkan oleh aktivitas manusia seperti menangkap ikan. *Free span* terjadi akibat beban yang tidak ditumpu dari pipa. Ketika fluida mengalir disekitar pipa, alirannya memisah. Setiap kali terjadi vorteks, pipa mengalami beban per satuan waktu dapat mengakibatkan *fatigue* dan dapat menyebabkan kegagalan dahsyat pada pipa tergantung dari kecepatan arus dan panjang pipa yang tidak tertumpu. (DNV RP-F-105)

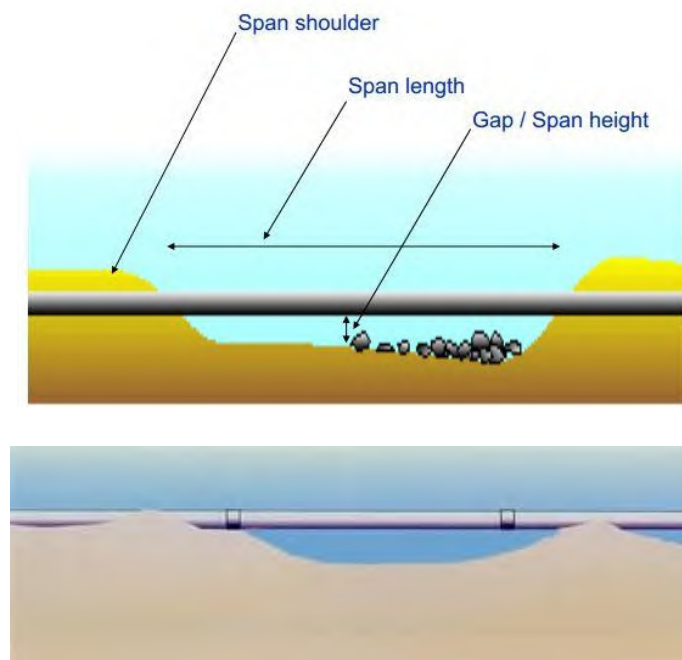


Gambar 2.10 *Freespan* pada pipa bawah laut (Yong Bai, 1981)



Gambar 2.11 Macam-macam kondisi *free-span*

Akibat dari gempa dapat menimbulkan *settlement*. *Settlement* adalah gerak vertikal kearah bawah akibat gaya tekan karena adanya tambahan beban. *Settlement* dapat mengakibatkan berbagai macam resiko pada pipa salah satunya *free-span*.



Gambar 2.12. *Free-span*

2.2.6.1 Panjang kritis *free-span*

Free-span adalah bentangan bebas pada pipa bawah laut akibat pipa yang tidak memiliki penopang (*support*). Panjang free span yang diizinkan menurut DNV adalah sebagai berikut :

$$L_{cr} = \left(\frac{EI}{m_e}\right)^{0,25} \left(\frac{CV_R D}{2\pi U}\right)^{0,5} \quad (2.24)$$

Keterangan

E	=	Modulus elastisitas
I	=	Momen inersia tekuk pipa
C	=	Koefisien tanah
V _r	=	<i>Reduced Velocity</i>

2.2.6.2. *Reduced Velocity*

$$V_R = \frac{U}{f_n D} \quad (2.25)$$

Keterangan

U	=	<i>Streamwise flow velocity</i>
D	=	Diameter luar
Me	=	Massa efektif
f _n	=	Frekuensi Natural

2.2.6.3. Frekuensi Natural

$$f_n = \frac{Ce}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{M_e L_s^4}} \quad (2.26)$$

Keterangan

Ce	=	Jenis tumpuan pada pipa bawah laut
E	=	Modulus Elastisitas
I	=	Momen Inersia

Me = Massa efektif
 Ls = Panjang span (asumsi)

2.2.6.4. Massa Efektif

$$m_e = \frac{W_{sub} + F_b}{g} + \frac{\pi}{4} (Dt)^2 \cdot \rho_w \cdot Ca \quad (2.27)$$

Keterangan

m_e = Massa efektif
 W_{sub} = Berat terendam pipa
 F_b = Gaya *buoyancy*
 g = Gravitasi bumi
 Dt = Diameter total
 ρ_w = Densitas air
 Ca = Koefisien penambahan massa $\left\{ Ca = 0,68 + \frac{1,6}{1+5(\frac{e}{D})} \right\}$

2.2.7. Weight Submerged

Berat pipa terendam dapat dihitung berdasarkan material pipa yang diketahui. Persamaan untuk mendapatkan berat pipa terendam adalah :

Berat pipa terendam terdistribusi secara merata sepanjang pipa, khususnya untuk pipa berat, akan sangat berpengaruh dalam penentuan *on bottom stability* dan perilakunya terhadap span.

Rumus untuk menentukan berat terendam pipa adalah sebagai berikut :

a. Diameter total

$$D = D_t = D_0 + 2t_{cc} + 2t_{wc} + 2t_{mar} \quad (2.28)$$

b. Diameter dalam pipa

$$D_i = D_0 - 2(t_{nom} + t_{int}) \quad (2.29)$$

c. Diameter beton

$$D_c = D_0 + 2t_{cc} + 2t_{wc} \quad (2.30)$$

d. Momen Inersia Baja (I_{steel})

$$I_{steel} = \pi \frac{D_0^4 - (D_i)^4}{64} \quad (2.31)$$

e. Momen Inersia Beton (I_{conc})

$$I_{conc} = \pi \frac{D_c^4 - (D_c - 2t_{wc})^4}{64} \quad (2.32)$$

f. Internal cross sectional area (A_i)

$$A_i = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i)^2 \quad (2.33)$$

g. Steel Area (A_s)

$$A_s = \frac{\pi}{4} [D_0^2 - (D_i)^2] \quad (2.34)$$

h. Internal coating weight

$$W_{ic} = W_{ic} = \frac{\pi}{4} [(D_i + 2 \cdot t_{int})^2 - (D_i)^2] \cdot \rho_{int} \cdot g \cdot L_{pj} \quad (2.35)$$

i. Corrosion coating weight

$$W_{cc} = W_{cc} = \frac{\pi}{4} [(D_0 + 2 \cdot t_{cc})^2 - (D_0)^2] \cdot \rho_{cc} \cdot g \cdot L_{pj} \quad (2.36)$$

j. Concrete coating weight

$$W_{wc} = W_{wc} = \frac{\pi}{4} [D_c^2 - (D_0 + 2 \cdot t_{cc})^2] \cdot \rho_{wc} \cdot g \cdot (L_{pj} - 2 \cdot FJ) \quad (2.37)$$

k. Steel weight

$$W_s = W_s = A_s \cdot \rho_s \cdot g \cdot L_{pj} \quad (2.38)$$

l. Content weight

$$W_c = W_c = A_i \cdot \rho_c \cdot g \cdot L_{pj} \quad (2.39)$$

m. Field joint weight

$$W_{fj} = W_{fj} = \frac{\pi}{4} [D_c^2 - (D_0 + 2t_{cc})^2] \cdot \rho_{fj} \cdot g \cdot 2FJ \quad (2.40)$$

n. Bouyancy per meter

$$F_b = F_b = \frac{\pi}{4} (D_t)^2 \cdot \rho_w \cdot g \quad (2.41)$$

o. Bouyancy force per joint

$$F_{buoy} = F_{buoy} = F_b \cdot L_{pj} \quad (2.42)$$

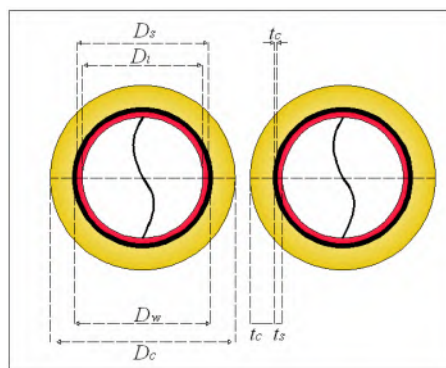
p. Submerged weight

$$W_{sub} = W_{sub} = \frac{W_c + W_s + W_{cc} + W_m + W_{wc} + W_{ic} + W_{fj} - F_{buoy}}{L_{pj}} \quad (2.43)$$

Keterangan

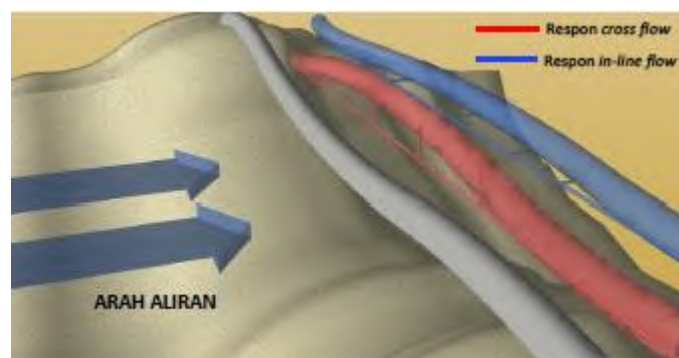
Dt	=	Diameter luar pipa baja, (m)
D _i	=	Diameter dalam pipa baja, (m)
D _c	=	Diameter luar selimut beton (concrete coating), (m)
t _{corr}	=	Tebal lapisan anti karat, (m)
t _{conc}	=	Tebal selimut beton, (in)
A _i	=	Internal cross sectional area (m ²)
A _s	=	Luas daerah baja (m ²)
W _{corr}	=	Berat lapisan anti karat di udara (N/m)

W_{wc}	=	Berat selimut beton di udara (N/m)
W_c	=	Berat muatan pada pipa (N/m)
W_s	=	Berat terendam pipa (N/m)
W_{fj}	=	Berat per joint pipa (N/m)
F_{buoy}	=	Gaya apung per joint (N/m)
L_{pj}	=	Panjang joint pipa (m)
B	=	Gaya apung (N/m)
W_{sub}	=	Berat tenggelam minimum pipa (N/m)



Gambar 2.13 Penampang melintang pipa

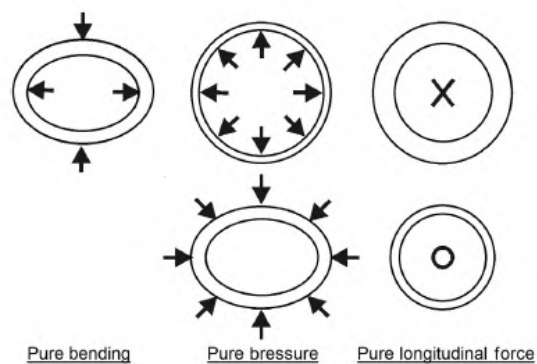
Analisis *freespan* terbagi menjadi dua kriteria yaitu analisis *freespan* statis dan dinamis. Dalam analisis pada penelitian ini menggunakan analisis dinamis karena mempehitungkan pengaruh *bending moment* pada saat kondisi terjadinya gempa dan mempertimbangkan pengaruh *vortex-induced vibration* yang ditulis oleh Dong et al. Analisis ini memperhitungkan pipa pada arah *cross-flow* dikarenakan pengaruh yang terjadi lebih signifikan dibandingkan arah *in line*.



Gambar 2.14 Respons pipa *in-line* dan *cross-flow*

2.2.8 Buckling

Penekukan (*buckling*) pada pipa dapat didefinisikan sebagai perubahan deformasi (*ovaling*) pada penampang pipa yang terjadi pada satu atau seluruh bagian pipa. Dengan kata lain buckling terjadi dalam keadaan dimana pipa sudah tidak bundar atau mengalami perubahan bentuk akibat tekanan hidrostatik yang besar pada kedalaman tertentu. Kemungkinan terjadinya buckling pada suatu struktur *pipeline* harus dipertimbangkan untuk menghindari kegagalan pada pipa. Analisa *Buckling* dibagi menjadi dua bagian yaitu *Local Buckling* dan *Global Buckling*. *Local buckling* merupakan suatu kondisi dimana terjadi deformasi bentuk pada penampang melintang suatu pipa. Analisis *local buckling* dilakukan untuk kondisi instalasi, hal ini disebabkan karena proses instalasi merupakan kondisi paling kritis terjadinya *local buckling* akibat adanya *external pressure*, *axial force* dan *bending moment*.



Gambar 2.15 Penampang pipa yang terdeformasi akibat beban (Bai, 2005)

Kriteria kegagalan pipa akibat terjadinya *buckling* terdiri dari kombinasi pembebanan dari tekanan eksternal, tekanan internal, momen tekuk dan gaya aksial. Dari kriteria diatas, dapat ditentukan apakah dengan penurunan tanah yang terjadi akibat gempa dapat mengakibatkan *buckling* pada pipa bawah laut.

Dalam menentukan *buckling* pada pipa bawah laut, analisis yang dilakukan adalah analisis lokal yang mengakibatkan terjadinya bentangan bebas (*free-span*).

Kriteria analisis lokal terhadap pipa bawah laut adalah sebagai berikut :

$$\left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c \cdot M_p(t_2)} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}(p_i)}{\alpha_c \cdot S_p(t_2)} \right\}^2 \right\} + \left(\alpha_p \cdot \frac{p_i - p_e}{\alpha_c \cdot \rho_b(t_2)} \right)^2 \leq 1$$

Keterangan

γ_m	=	Material resistance factor (1,15)
γ_{sc}	=	Safety class resistance factor (1,38)
M_{sd}	=	Design bending moment
S_{sd}	=	Design effective axial force
p_i	=	Internal pressure
p_e	=	External pressure
$\rho_b(t_2)$	=	Pressure containment resistance (bursting pressure)
$S_p(t_2)$	=	Denote plastic moment capacities
$M_p(t_2)$	=	Denote plastic axial force capacities

- Design moment bending (M_{sd})

$$\frac{(F_G - F_F) \times \gamma_F \gamma_C \times L^2}{8} + \sigma_{CF} \frac{2I_{steel}}{D_s - t} \times \gamma_E \quad (2.44)$$

Keterangan

F_G	=	Gravity force
F_F	=	Bouyancy force
γ_F	=	Coefficient of Functional Loads (1,1)
γ_C	=	Coefficient of (1,0)
L	=	Length of span
γ_E	=	Coefficient of Environmental Loads (1,3)
σ_{CF}	=	Stress range during cross flow
I_{steel}	=	Inertia of Steel

- Gravity force

$$F_G = (m_{steel} + m_{cor} + m_{con} + m_{in}) \quad (2.45)$$

Keterangan

m_{steel}	=	Massa besi
-------------	---	------------

m_{cor}	=	Massa lapisan anti korosi
m_{con}	=	Massa lapisan beton
m_{in}	=	Massa internal fluida

- Bouyancy force

$$F_F = m_{add} g \quad (2.46)$$

Keterangan

m_{add}	=	Massa tambah (added mass)
g	=	Gravitasi (9,81 m/s ²)

- Stress range during cross flow

$$S_{CF} = 2 A_{CF} \left(\frac{A_z}{D} \right) R_k \gamma_s \quad (2.47)$$

Keterangan

A_{CF}	=	maximum (unit diameter stress amplitude)
$\frac{A_z}{D}$	=	cross flow VIV amplitude
R_k	=	Amplitude reduction factor due to damping
γ_s	=	Safety factor to be multiplied on the stress range

- Unit diameter stress amplitude

$$A_{CF} = C_4 (1 + CSF) \frac{D \cdot (D_s - t) \cdot E}{L_{eff}^2} \quad (2.48)$$

Keterangan

C_4	=	Boundary condition coefficient (4,93 for pinned-pinned)
CSF	=	Concrete stiffness enhancement factor
E	=	Youngs modulus for steel
L_{eff}	=	Effective span length

- Concrete stiffness enhancement factor

$$CSF = k_c \left(\frac{EI_{conc}}{EI_{steel}} \right)^{0,75} \quad (2.49)$$

Keterangan

k_c	=	empirical constant accounting for the deformation/
-------	---	--

slippage in the corrosion coating

I_{conc} = Inertia concrete

I_{steel} = Inertia steel

- *Effective span length*

$$\frac{L_{eff}}{L} = \begin{cases} \frac{4.73}{-0.066\beta^2 + 1.02\beta + 0.63} & \text{for } \beta \geq 2.7 \\ \frac{4.73}{0.036\beta^2 + 0.61\beta + 1.0} & \text{for } \beta < 2.7 \end{cases} \quad (2.50)$$

- *Weibull shape parameter and relative soil stiffness parameter*

$$\beta = \log_{10}\left(\frac{K \cdot L^4}{(1+CSF)EI}\right) \quad (2.51)$$

Keterangan

K = relevant soil stiffness

- *Amplitude reduction factor due to damping*

$$R_k = \begin{cases} 1 - 0.15K_{sd} & \text{for } K_{sd} \leq 4 \\ 3.2K_{sd} & \text{for } K_{sd} > 4 \end{cases} \quad (2.52)$$

Keterangan

K_{sd} = Stability Parameter

- *Stability Parameter*

$$KS = \frac{4\pi m_e \xi_\tau}{\rho D^2} \quad (2.53)$$

Keterangan

m_e = Massa efektif

ξ_τ = total modal damping ratio

ρ = massa jenis air

- *Modal damping ratio*

Damping ratio menurut DNV OS F101 terbagi atas :

a. ξ_{str} (*Structural damping*)

Jika tidak ada keterangan maka *structural damping* bernilai 0,005 namun jika diketahui *concrete* dan *corrosion coating* maka *damping ratio* nya bernilai 0,01 – 0,02.

b. ξ_{soil} (*Soil damping*)

Nilai dari *soil damping* sebesar 0,01

c. ξ_h (*Hydrodynamics damping*)

Niai *hydrodynamic damping* umumnya 0

- *Flow Stress Parameter*

$$\alpha_c = (1 - \beta) + \beta \frac{f_u}{f_y} \quad (2.54)$$

Keterangan

f_u : Derating on tensile stress to be used in design

f_y : Derating on yield stress to be used in design

- *Denote plastic capacities for pipe*

$$M_p = f_y(D - t_2)^2 \quad (2.55)$$

$$S_p = f_y\pi(D - t_2) \quad (2.56)$$

- *Effective Axial Force*

$$Ssd = H - \Delta p i A_i (1 - 2\nu) - A_s E \Delta T \alpha_e \quad (2.57)$$

Keterangan

H : Residual lay tension

ν : Poisson Ratio

α_e : temperature expansion coeeficient

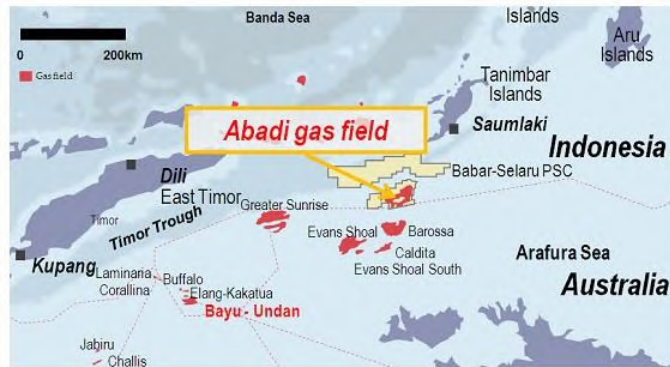
- *Pressure Containment (Bursting Pressure)*

$$p_b(t_2) = \frac{2t_2}{D - t_2} f_{cb} \frac{2}{\sqrt{3}} \quad (2.58)$$

Keterangan

f_{cb} : Minimum of f_y and $f_u/1,15$.

2.2.9 Lapangan Gas Abadi (Blok Masela)



Gambar 2.16 Lokasi lapangan gas Abadi

Abadi Field merupakan lapangan dengan *discovery* pertama di Indonesia dari Formasi Middle Jurassic Plover. Ini merupakan penemuan gas yang sangat besar berlokasi 350 km sebelah timur Pulau Timor dan 350 km utara Darwin, Australia. *Abadi Field* terletak sebelah utara perbatasan internasional dengan Australia, dengan kedalaman 400-800 m. *Abadi Field* berada pada Blok Masela PSC dibagian timur dari Laut Timor, Indonesia bagian timur, disepanjang perbatasan internasional Indonesia - Australia (Gambar 1). Masela PSC diberikan kepada Inpex Corporation sebagai Operator dengan 100% interest pada November 1998. Namun pada July 2011, Inpex menandatangani agreement dengan Shell untuk 30% transfer participating interest. Dan saat ini PT. Energi Mega Persada (EMP) juga mempunyai kepemilikan 10% interest.

Discovery well Abadi-1 telah didrill dan selesai pada akhir 2000. Mengikuti kesuksesan *discovery well*, 2,060 km² 3D seismic survey diakuisisi pada 2001 dan dua sumur *appraisal* telah sukses dibor pada 2002.

Pemerintah telah memutuskan untuk mengolah blok Masela dengan skema darat, sehingga gas yang diproduksi mungkin akan dialirkan dengan pipa bawah laut atau ke kilang itu sendiri dari lokasi pengeboran. Oleh karena itu, seiring dengan berjalannya rencana pemerintah, maka dibutuhkan pipa bawah laut yang mampu bertahan pada kondisi di blok Masela itu sendiri.

Namun, pada penelitian kali ini, analisis resiko pada pipa bawah laut diperlukan untuk mengetahui apakah sebenarnya pipa bawah laut mampu menjadi

alternatif bagi lapangan gas Abadi yang dianggap memiliki potensi gempa yang cukup besar. Selain itu, pada beberapa jurnal disebutkan bahwa sebenarnya jika mampu memasang pipa bawah laut pada lapangan gas ini dapat menghemat biaya dan juga dapat mensejahterakan penduduk sekitar.

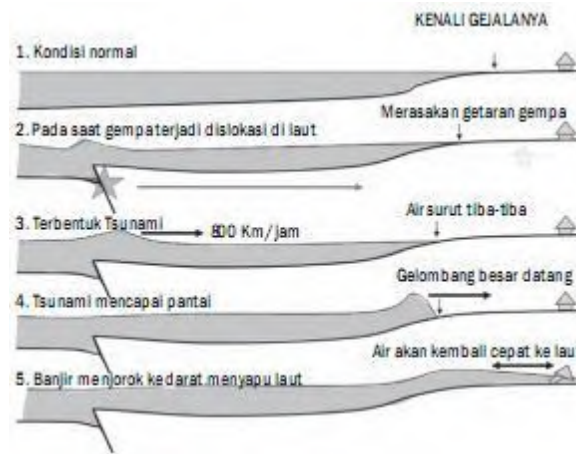
2.2.10 Gempa Bumi

Gempa Bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang gempabumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. (BMKG, 2014).

Jenis-jenis gempa bumi yang dikategorikan berdasarkan penyebabnya adalah sebagai berikut :

a. Gempa Tektonik

Gempa tektonik terjadi akibat peristiwa pergerakan lapisan kulit bumi atau adanya patahan akibat pergerakan lempeng bumi sehingga terjadi pemindahan atau pergeseran yang tiba-tiba di lapisan kulit bumi. Pemindahan atau pergeseran itu menimbulkan getaran di permukaan bumi yang disebut gempa tektonik. Gempa tektonik terjadi di wilayah yang luas karena pergeseran lempeng kulit bumi. Gempa tektonik sangat berbahaya karena gerakannya cepat dan kuat meliputi wilayah yang luas sehingga sering menimbulkan kerusakan pada rumah dan gedung. Akibat yang ditimbulkan gempa tektonik sangat membahayakan karena merusak bangunan, muka bumi (retak, longsor, merosot), dan lingkungan. Kerusakan terjadi karena getarannya sangat kuat dan singkat hingga dapat merobohkan bangunan yang tidak tahan gempa. Wilayah korban gempa ini sangat luas, terutama bila gempa tersebut kuat.



Gambar 2.17 Gempa bumi pada dasar laut yang berakibat Tsunami

Kriteria besaran gempa dari segi insentitas kekuatan gempa antara lain sebagai berikut (Wahyudi, 2010) :

Tabel 2.2 Kriteria *Magnitude* Gempa

<i>Magnitude</i> (SR)	Keterangan
1-2	Tercatat oleh seismograf lokal, tetapi secara umum tidak terasa
3-4	Tercatat oleh seismograf lokal, sering dapat dirasakan dan tidak ada kerusakan
5	Tercatat oleh seismograf lokal. Terasa secara luas dan sedikit ada kerusakan di dekat episenter
6	Kerusakan terhadap bangunan dengan struktur yang jelek dan struktur lain dalam radius 10 km
7	"Major earthquake" menyebabkan kerusakan serius sampai radius 100 km
8	"Great earthquake", kehancuran besar dan kehilangan nyawa sampai jarak beberapa ratus km
9	"Great earthquake", yang jarang terjadi dan menyebabkan kehancuran yang besar pada daerah lebih dari 1000 km

b. Gempa Vulkanis

Gempa vulkanik adalah getaran di permukaan bumi yang disebabkan oleh peristiwa keluarnya magma dari dapur magma. Peristiwa magma keluar dari

dapur magma, baik hanya di lapisan kulit bumi maupun sampai permukaan bumi menyebabkan getaran disebut magma vulkanik. Getaran gempa vulkanik terbatas di tubuh gunung api dan di daerah sekitarnya. Bahaya dari gempa vulkanik adalah bahan-bahan yang dikeluarkan oleh letusan gunung vulkanik, seperti batu-batuan, debu, lahar, dan gas beracun. Akibat gempa vulkanik dapat membahayakan makhluk hidup dan lingkungan yang disebabkan oleh bahan letusan.

c. Gempa Runtuhan

Gempa runtuh atau terban adalah getaran yang dirasakan di permukaan bumi akibat adanya tanah longsor, atap gua runtuh, atau tanah runtuh di lubang pertambangan yang menimbulkan getaran di muka bumi. Akibat gempa ini hanya dirasakan di sekitar gempa runtuh atau bersifat lokal. Namun, akibat yang dirasakan dapat menimbulkan kematian bagi manusia yang tertimbun dan merusak bangunan di sekitar gempa runtuh.

Pembagian zona gempa berdasarkan jarak kejadian gempa (setiap zona berjarak 20 km) dari titik tujuan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Pembagian zona gempa

Zone	Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)
I	1993	12	20	Kepulauan Tanimbar	6,3	7,7
	2013	12	1	Kepulauan Barat Daya	6,4	9,9
	2008	11	7	Banda Sea	6,2	10
	2014	8	6	Kepulauan Barat Daya	6,2	10
	1993	10	5	Banda Sea	6,6	13,1
	1918	11	23	Banda Sea	6,9	15
	2008	2	13	Timor Sea	6,2	19
	Rata-rata				6,4	12,1
II	1974	3	6	Banda Sea	6,3	26
	1965	4	27	Banda Sea	6	30
	1962	5	15	Kepulauan Barat Daya	7,1	30,2
	1990	9	23	Banda Sea	6,5	33
	1993	1	20	Kepulauan Barat Daya	6,4	33
	1994	8	4	Kepulauan Tanimbar	6,2	33
	1998	11	9	Banda Sea	7	33
	1998	11	9	Banda Sea	6,7	33
	2001	11	20	Banda Sea	6,2	33

Zone	Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)
	2001	5	28	Kepulauan Tanimbar	6	33
	1927	6	3	Banda Sea	7,5	35
	1955	7	23	Kepulauan Barat Daya	6,5	35
	1960	10	7	Kepulauan Tanimbar	6,7	35
	1966	2	13	Kepulauan Tanimbar	6	35
	1969	2	24	Banda Sea	6,2	35
	1972	9	24	Kepulauan Tanimbar	6,8	35
	1988	2	6	Kepulauan Tanimbar	6,2	38,5
	Rata-rata				6,5	33,3
III	2003	3	9	Banda Sea	6	45,9
	2007	12	15	Kepulauan Tanimbar	6,4	57
	1997	7	31	Banda Sea	6	58,6
	1983	11	20	Kepulauan Tanimbar	6,1	59,3
	Rata-rata				6,1	55,2
IV	1953	4	6	Kepulauan Tanimbar	6,3	63,3
	1944	3	31	Banda Sea	6,4	65
	1963	11	4	Banda Sea	8,1	65
	1987	6	17	Banda Sea	7,1	67,3
	2004	6	25	Banda Sea	6,1	70,5
	1992	12	20	Banda Sea	7,3	77,7
	Rata-rata				6,9	68,1
V	2015	11	21	176km WNW of Saumlaki	6,1	82
	2015	11	21	Kepulauan Babar	6	82
	2009	12	26	Banda Sea	6,1	85
	1992	5	4	Banda Sea	6,1	86,1
	1988	5	30	Kepulauan Barat Daya	6,9	86,3
	1967	10	12	Kepulauan Babar	6	88,2
	2013	8	12	189km WNW of Saumlaki	6	95
	1967	3	19	Banda Sea	6,2	97,7
	Rata-rata				6,2	87,8
VI	1975	10	17	Kepulauan Barat Daya	6,3	109
	2013	9	1	Kepulauan Barat Daya	6,5	112
	1968	1	14	Kepulauan Barat Daya	6	116
	2014	12	6	223 NNW of Saumlaki	6	116
	1974	10	29	Banda Sea	6,5	117
	1992	10	18	Banda Sea	6,2	118,9
	1976	8	21	Banda Sea	6	120
	Rata-rata				6,2	115,56
VII	2008	6	6	Kepulauan Barat Daya	6	122
	2010	2	15	Kepulauan Barat Daya	6,2	126

Zone	Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)
	2009	10	24	Banda Sea	6,9	130
	1971	9	16	Banda Sea	7	131
	1965	11	21	Banda Sea	6,5	133,3
	2010	12	15	Kepulauan Barat Daya	6	134,9
	1991	10	15	Banda Sea	6,2	136,8
	1991	11	7	Kepulauan Barat Daya	6,3	140,2
	1995	12	25	Banda Sea	7,1	141,9
	2000	3	3	Kepulauan Barat Daya	6,4	141,9
	2009	1	22	Kepulauan Barat Daya	6,1	146,7
	2002	3	19	Banda Sea	6,1	148,1
	1968	9	27	Banda Sea	6	150,6
	1965	5	12	Banda Sea	6,1	153,1
	2012	12	10	Banda Sea	7,1	155
	1984	2	17	Banda Sea	6	158,1
	1983	8	6	Banda Sea	6	160
	Rata-rata				6,4	141,7
VIII	1980	6	16	Kepulauan Barat Daya	6	167
	1969	4	13	Banda Sea	6,4	167,5
	2008	8	4	Banda Sea	6,3	173,9
	1969	8	8	Banda Sea	6,6	176,2
	1983	11	24	Kepulauan Barat Daya	7,3	178,5
	1981	10	17	Kepulauan Barat Daya	6,1	179
	Rata-rata				6,45	173,68
IX	1995	9	18	Banda Sea	6	180,6
	1964	7	8	Banda Sea	6,9	190
	1950	11	2	Banda Sea	7,7	199,7
	2005	3	2	Banda Sea	7,1	201,7
	1997	11	3	Banda Sea	6,1	215,6
	1963	2	14	Kepulauan Barat Daya	6,6	220
	1985	3	25	Banda Sea	6,2	248,5
	1965	8	20	Banda Sea	6,7	330
	2006	11	14	Banda Sea	6,1	345
	1964	3	21	Banda Sea	6,8	359,1
	Rata-rata				6,62	249,02

2.2.11 Analisis Resiko

Resiko umumnya didefinisikan sebagai kemungkinan atau probabilitas dari suatu kejadian yang mengakibatkan kerugian. Resiko meningkat ketika peluang kejadian meningkat atau kerugian yang ditimbulkan meningkat.

Transportasi produk dengan menggunakan pipa bawah laut cukup beresiko karena dapat menyebabkan pipa gagal, konten dari pipa terbuang, dan mengakibatkan bahaya. Rumus umum yang digunakan dalam menentukan resiko adalah :

$$\text{Risk} = \text{likelihood} \times \text{consequences}$$

Resiko umumnya diekspresikan dengan kuantitas yang terukur seperti kemungkinan terjadinya kegagalan, cedera dan kerugian secara material. Umumnya, kerugian secara material merupakan faktor terbesar dalam resiko. Resiko dikelompokkan menjadi “*Acceptable Risk*”, “*Tolerable Risk*”, “*Risk Tolerance*” dan “*Negligible Risk*”. (Muhlbauer, 2004).

Dalam mengerjakan resiko, proses yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Risk Modelling

Pada langkah awal *risk assesment*, umumnya harus ada model yang diteliti terlebih dahulu. Resiko pada pipa bawah laut umumnya terdiri dari set algoritma atau aturan yang digunakan berdasarkan informasi yang tersedia dan data-data yang berkaitan untuk menentukan resiko pada pipa.

b. Pengumpulan data dan persiapan-persiapan yang perlu dilakukan.

Pengumpulan data bertujuan untuk menyatukan semua yang berkaitan dengan pipa meliputi data inspeksi, konstruksi awal, kondisi lingkungan, sejarah perbaikan dan kondisi operasinya, kerusakan terdahulu dan lainnya.

c. Segmentasi

Karena resiko umumnya jarang terjadi pada pipa maka dikelompokkan pipa dengan karakteristik yang serupa (*dynamic segmentation*) atau membagi menjadi beberapa bagian yang mudah diatur.

d. Menghitung resiko

Dengan metode yang telah dipilih, dapat diaplikasikan ke setiap segmen dan akan didapatkan setiap nilai yang berbeda pada setiap segmennya. Nilai-nilai ini dapat dikonversi menjadi nilai yang absolut.

e. Manajemen Resiko

Proses yang diperlukan dalam manajemen resiko adalah sebagai berikut :

- Analisis data (secara grafik dan statistik ringan)
- Menghitung resiko kumulatif dan trends
- Membuat strategi manajemen resiko keseluruhan
- Mengidentifikasi mitigasi proyek
- Menampilkan *what-if's*

Pendekatan dalam resiko

Tiga tipe dalam pendekatan resiko dari mulai yang paling mudah hingga paling kompleks adalah matriks, probabilitas dan *indexing models*. Masing-masing memiliki kekuatan, dan kekurangan.

- Model matriks

Salah satu metode *risk assesment* yang mudah adalah matriks analisis keputusan. Ini memposisikan resiko pipa berdasarkan peluang dan konsekuensi yang terjadi pada skala tinggi, sedang atau rendah. Dalam skala angka, 1-5 misalnya. Setiap ancaman dapat dikategorikan pada cell dari matriks yang didapatkan dari peluang dan konsekuensi. Pendekatan ini memerlukan pendapat dari ahli atau aplikasi yang mendukung untuk membuat ranking resikonya.

- Model probabilistik

Model *risk assesment* yang cukup sulit sehingga membutuhkan pendekatan yang merujuk kepada *probabilistic risk assesment* (PRA) atau juga *qualitative risk assesment* (QRA) atau numerical risk assesment (NRA). Teknik ini digunakan untuk menganalisis nuklir, bahan kimia dan industri penerbangan dan terkadang industri petrokimia.

- Model index

Mungkin pada saat ini, metode yang paling sering digunakan adalah model ini. Pada pendekatan ini, nilai (skor) menjadi penting karena berkaitan dengan penggambaran aktivitas di pipa. Ini termasuk juga *risk-reducing* dan *risk-increasing*. Setiap segmentasi pada pipa dinilai dan diberi bobot sesuai dengan atribut yang melekat pada pipa itu. Meskipun setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, metode ini digunakan untuk beberapa hal misalnya :

- a. Menjanjikan jawaban yang cepat
- b. Analisis yang tidak memakan banyak biaya
- c. Komprehensif
- d. Bekerja sebagai salah satu alat untuk mengambil keputusan
- e. Mengidentifikasi dan menempatkan nilai pada mitigasi resiko

2.2.11.1 Jenis-jenis analisis resiko

Jenis-jenis analisis resiko terbagi menjadi tiga bagian yaitu :

1. Analisis Kualitatif

Analisis ini umumnya digunakan untuk menentukan keputusan pada proyek bisnis, entrepreneurs yang berdasarkan pada pandangan pribadi, pengalaman dan intuisi pada proses penentuannya.

Metode ini digunakan pada tingkat resiko yang rendah dan tidak perlu menggunakan banyak waktu dan tenaga dalam menganalisisnya. Metode ini meliputi : brainstorming, kuisioner dan wawancara, evaluasi pada kelompok multidisplin dan *judgement* dari para pakar.

2. Analisis Semi Kuantitatif

Analisis ini akan menghasilkan nilai rendah, sedang dan tinggi yang dijabarkan pada *likelihood* dan *consequences*. Analisis ini adalah penggabungan dari kuantitatif dan kualitatif, ada unsur penilaian pribadi dan diberikan skor terhadap penilaian tersebut. Dalam pemberian nilai harus diperhatikan keakuratan dari penilaian tersebut karena dapat mempengaruhi hasil dari kalkulasi.

3. Analisis Kuantitatif

Metode kuantitatif adalah metode yang menggunakan angka sebagai acuan dalam menentukan tingkat resiko. Metode ini meliputi : analisis potensi, analisis konsekuensi dan simulasi komputer. Metode yang digunakan dalam kuantitatif salah satunya adalah Monte Carlo.

2.2.11.2 Simulasi Montecarlo

Simulasi Monte Carlo adalah metode kuantitatif dari analisis resiko. Metode ini diberi nama demikian diambil dari Principality of Monaco yang terkenal dengan permainan yang penuh dengan peluang.

Metode ini menggunakan model resiko matematis yang menggunakan angka random sebagai variabel dalam skenario dan hasil akan didapatkan. Dengan hasil tersebut yang didapat dari hasil iterasi, studi statistik mengemukakan bahwa dari simulasi ini dapat menghasilkan nilai minimum, maksimum, rerata dan standar deviasi.

2.2.12 Resiko pada Pipa Bawah Laut

Resiko pada pipa bawah laut dapat diakibatkan oleh berbagai macam aspek termasuk naiknya pipa ke permukaan akibat berkurang tegangan geser pada tanah yang menyebabkan tanah berpori karena gempa bumi. Perhitungan resiko yang sesuai dengan DNV RP-F-107 yaitu :

Tabel 2.4. Frekuensi ranking pada pipa bawah laut (kegagalan tahunan)

Table 13 Annual failure frequency ranking for one pipeline/umbilical		
Category	Description	Annual frequency
1 (low)	So low frequency that event considered negligible.	$<10^{-5}$
2	Event rarely expected to occur.	$10^{-4} > 10^{-5}$
3 (medium)	Event individually not expected to happen, but when summarised over a large number of pipelines have the credibility to happen once a year.	$10^{-3} > 10^{-4}$
4	Event individually may be expected to occur during the lifetime of the pipeline. (Typically a 100 year storm)	$10^{-2} > 10^{-3}$
5 (high)	Event individually may be expected to occur more than once during lifetime.	$>10^{-2}$

Tabel 2.5. Possible External Hazard (DNV RP-F-107)

No	Operation/activity	Hazard	Possible consequence to pipeline
1.	Installation of pipeline	Dropped and dragged anchor/anchor chain from pipe lay vessel	Impact damage
		Vessel collision during laying leading to dropped object, etc.	

No	Operation/activity	Hazard	Possible consequence to pipeline
		Loss of tension, drop of pipe end, etc.	Damage to pipe/umbilical being laid or other pipes/umbilical already installed
		Damage during trenching, gravel dumping, installation of protection cover, etc	Impact damage
		Damage during crossing construction	
2.	Installation of risers, modules, etc. (i.e. heavy lifts)	Dropped objects	Impact damage
		Dragged anchor chain	Pull-over and abrasion damage
3.	Anchor handling (Rig and lay vessel operations)	Dropped anchor, breakage of anchor chain, etc.	Impact damage
		Dragged anchor	Hooking (and impact) damage
		Dragged anchor chain	Pull-over and abrasion damage
4.	Lifting activities	Drop of objects into the sea	Impact damage
5.	Subsea operations	ROV impact	Impact damage
		Maneuvering failure during equipment installation/removal	Impact damage
			Pull-over and abrasion damage
6.	Trawling activities	Trawl board impact, pull over or hooking	Impact damage and pull-over damage
7.	Tanker, supply vessel and commercial ship traffic	Collision (either powered or drifting)	Impact damage
		Emergency anchoring	Impact and/or hooking damage
		Sunken ship (e.g. after collision with platform or other ships)	Impact damage

Tabel 2.6. Rangkang Probabilitas (IPC, 2006)

<i>Consequences Rank</i>	<i>Proposed Range of Calculated (P_{fail})</i>
1	less than 0,1%
2	$0,1 \% < P_{fail} < 1 \%$
3	$1 \% < P_{fail} < 10\%$
4	$10\% < P_{fail} < 50\%$
5	$P_{fail} > 50\%$

2.2.12.1 Identifikasi Bahaya

Pipa bawah laut atau yang biasa disebut *offshore pipeline* memiliki potensi kerusakan yang bisa jauh lebih besar daripada jalur pipa yang ada di darat, khususnya untuk lingkungan yang berada di bawah laut. Dengan tren yang sedang berkembang belakangan ini mengenai *Health, Safety and Environment*, menjadikan sebuah alasan mengapa perlunya perhatian lebih bagi jalur pipa yang berada di laut yang secara kasat mata akan sangat sulit untuk dipantau keberadaannya. Oleh karena itu, perlunya melakukan tindakan semacam *marine survey* dan *hazard identification* pada lingkungan laut secara berkala.

Pengklasifikasian kategori bahaya yang mungkin terjadi pada pipa bawah laut, baik itu disebabkan karena kondisi alami di sekitar lingkungan maupun yang terjadi akibat dari aktivitas manusia, di golongankan menjadi tiga kategori yaitu: (Mouselli, 1981)

1. *Hazard* yang terjadi selama periode konstruksi
2. *Hazard* yang terjadi setelah jalur pipa terpasang di dasar laut
3. *Hazard* yang terjadi baik itu dari proses instalasi maupun dari proses operasi.

Hazard Identification harus dilakukan secara sistematis dan harus dapat mengkover semua kemungkinan terjadinya bahaya yang mungkin terjadi pada *offshore pipeline*. Ada banyak hal yang menjadi pertimbangan dalam melakukan klasifikasi pengidentifikasian bahaya tersebut. Seperti yang telah dijelaskan

diatas, ketiga kategori bahaya yang terjadi pada *offshore pipeline* menjadi salah satu dasar dalam melakukan *Hazard Identification*

2.2.12.2 Moda Kegagalan

Untuk menganalisis resiko akibat gempa, dibutuhkan analisis konsekuensi yang terjadi akibat terkena gempa dan efeknya terhadap pipa. Menurut DNV, pipa dikatakan gagal jika nilainya lebih dari 1 sesuai dengan moda kegagalannya yaitu berkaitan dengan *local buckling*. Jika rasio *buckling* nilainya lebih kecil dari 1 maka, pipa dinyatakan tidak mengalami *buckling*. Maka, moda kegagalan dari studi kasus diatas adalah :

$$\left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c \cdot M_p(t_2)} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}(p_i)}{\alpha_c \cdot S_p(t_2)} \right\}^2 \right\} + \left(\alpha_p \cdot \frac{p_i - p_e}{\alpha_c \cdot p_b(t_2)} \right)^2 \leq 1 \quad (2.44)$$

Sistem dikatakan gagal jika nilai moda kegagalan > 1 , dinyatakan berhasil jika moda kegagalan < 1 dan jika nilai moda kegagalan $= 0$ maka dinyatakan gagal permukaan = *failure surface*. (Rosyid, 2007). Variabel acak dasar terdiri dari variabel fisik yang menggambarkan ketidakpastian (Rafika, 2011).

2.2.12.3 Risk Assesment

Risk Assesment adalah proses identifikasi bahaya dan cara menanggulangnya jika terjadi bahaya tersebut atau juga metode yang sistematis untuk menentukan apakah suatu organisasi memiliki resiko yang dapat diterima atau tidak. *Risk assesment* merupakan kunci dalam perencanaan pemulihan bencana. *Risk Assesment* dengan metode kualitatif dinyatakan dengan hubungan antara dampak yang ditimbulkan oleh suatu *hazard* (*consequence*) dengan kemungkinan kejadian *hazard* di masa yang akan datang (*likelihood*), yang ditampilkan dalam sebuah *Risk Matrix* atau *Risk Ranking*.

Tahapan dari risk assesment berdasarkan AS/NZS 4360:2004 adalah sebagai berikut :

a. Establish the Context

Parameter dasar dalam memilih resiko yang perlu untuk di manage.

b. *Identify Risks*

Mengidentifikasi resiko yang akan diteliti

c. *Analyze Risk*

Menganalisa resiko yang butuh untuk di tangani beserta strategi yang sesuai dengan biaya yang minimum

d. *Evaluate Risk*

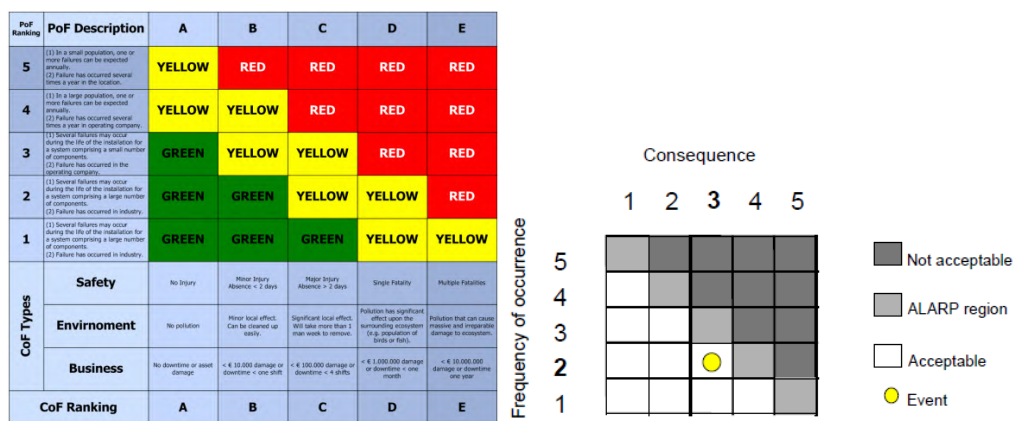
Membuat keputusan berdasarkan dampak analisis resiko

e. *Threat Risk*

Mengembangkan dan mengimplementasi strategi yang hemat biaya (*cost-effective*) dan rencana aksi untuk meningkatkan potensi manfaat dan mereduksi potensi biaya yang dikeluarkan

2.2.12.4 Matriks Resiko

Dalam *Risk Assessment* pada suatu struktur, bisa jadi kita menganalisis dengan menggunakan *multi hazard*, karena mungkin saja suatu wilayah atau struktur mempunyai kerentanan terhadap beberapa bahaya sekaligus seperti gempa bumi, tsunami, banjir, gunung meletus, tanah longsor, angin puting beliung. Sehingga analisis dilakukan pada setiap hazard, yang meliputi *likelihood* dan *consequence*. Kemudian *likelihood* dan *consequence*, di plot dalam *Risk Matrix* dengan *range score* yang disepakati, seperti beberapa contoh berikut:



Gambar 2.18 Matriks Resiko menurut AS/NZS 4360:2004 dan DNV RP-F-116

Berdasarkan DNV RP-F-107 mengenai *Risk Assesment of Pipeline Protection* dijelaskan bahwa matriks resiko harus dapat digunakan untuk :

- a. Setiap situasi bahaya yang teridentifikasi (contoh : *dropped object, trawling*)
- b. Setiap lokasi yang relevan (contoh : dekat *platform*, dekat instalasi pipa bawah laut)
- c. Setiap kemungkinan konsekuensi (manusia, lingkungan, *economic loss*)

Keterangan dari hasil matriks resiko :

- a. *Low* (Resiko Rendah)
Mengambil langkah praktis dan meminimalisir serta memantau resiko selama 30 hari
- b. *Medium* (Resiko Sedang)
Mengambil langkah praktis dengan meminimalisir resiko hingga eliminasi, substitusi dan isolasi atau kontrol teknis dapat dilaksanakan dalam 7 hari
- c. *High* (Resiko Tinggi)
Bertindak secepatnya untuk menghilangkan, mengganti atau mengisolasi resiko atau mengimplementasikan kontrol teknis selama 72 jam
- d. *Extreme* (Resiko Ekstrim)
Hentikan aktivitas

2.2.13 Analisis data tanah

Pada analisis data tanah untuk lapangan gas Abadi ini, dilakukan dengan pendekatan parametris yaitu dengan membuat variasi persentase data tanah lalu disimulasikan menggunakan software Liquefy4.

2.2.13.1 Klasifikasi Data Tanah

Metode klasifikasi tanah dengan menggunakan USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan metode klasifikasi tanah yang cukup banyak digunakan dalam bidang geoteknik. Klasifikasi ini diusulkan oleh A. Cassagrande

pada tahun 1942 dan direvisi pada tahun 1952 oleh *The Corps of Engineers and The US Bureau of Reclamation*.

Pada prinsipnya menurut metode ini, ada 2 pembagian jenis tanah yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung). Tanah digolongkan dalam butiran kasar jika lebih dari 50% tertahan di atas saringan no. 200. Sementara itu tanah digolongkan berbutir halus jika lebih dari 50% lolos dari saringan no. 200. Selanjutnya klasifikasi yang lebih detail lagi dapat menggunakan table USCS berikut ini. Beberapa symbol berikut ini sering digunakan dalam klasifikasi metode USCS :

MAJOR DIVISIONS	GROUP SYMBOLS	TYPICAL NAMES	FIELD IDENTIFICATION PROCEDURES (EXCLUDING PARTICLES LARGER THAN 1/4 INCH AND BASING FRACTIONS ON ESTIMATED WEIGHTS)	INFORMATION REQUIRED FOR CLASSIFICATION	LABORATORY CLASSIFICATION CRITERIA
1. Coarse-grained soils (more than 50% passing No. 20 sieve)	2. Silty sands (SW), sandy silts (SM), and silty sands (SS)	3. Silty sand (SW), sandy silt (SM), and silty sand (SS)	4. Silty sand (SW), sandy silt (SM), and silty sand (SS)	5. Silty sand (SW), sandy silt (SM), and silty sand (SS)	6. Silty sand (SW), sandy silt (SM), and silty sand (SS)
2. Fine-grained soils (less than 50% passing No. 20 sieve)	3. Silty clays (SC), clay silts (CL), and silty clay (CI)	4. Silty clay (SC), clay silt (CL), and silty clay (CI)	5. Silty clay (SC), clay silt (CL), and silty clay (CI)	6. Silty clay (SC), clay silt (CL), and silty clay (CI)	7. Silty clay (SC), clay silt (CL), and silty clay (CI)
3. Highly organic soils (OH)	4. Highly organic soil (OH)	5. Highly organic soil (OH)	6. Highly organic soil (OH)	7. Highly organic soil (OH)	8. Highly organic soil (OH)

Gambar 2.19 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

2.2.13.2 Pengelompokkan nama tanah

Berdasarkan USDA (*United States Department's of Agriculture*), di atur *soil triangle* atau klasifikasi tanah yang memiliki ciri sebagai berikut :

a. Sand

- Harus terdiri dari 85 % atau lebih pasir
- Persentase dari silt ditambah 1,5 kali persentase clay tidak boleh dari 15 %

b. Loamy Sand

Batas atas

- Harus terdiri dari 85 hingga 90 % pasir
- Persentase dari silt ditambah 1,5 kali persentase dari clay tidak kurang dari 15 %

Batas bawah

- Harus terdiri dari 70 hingga 85 % pasir

- Persentase dari silt ditambah dua kali persentase clay tidak lebih dari 30 %

c. Sandy Loam

- Mengandung 20 % clay atau kurang
- Persentase silt ditambah 20 % ditambah dua kali persentase clay melebihi 30 dan memiliki 52% pasir
- Mengandung kurang dari 7 % clay, kurang dari 50 % silt dan
- berada pada 43 hingga 52 % sand

d. Loam

Mengandung 7 hingga 27 % clay, 28 hingga 50 % silt dan kurang dari 52 % pasir

e. Silt Loam

- Terdiri dari 50 % silt dan 12 hingga 27 persen clay atau
- Terdiri dari 50 hingga 80 persen silt dan kurang dari 12 persen clay

f. Silt

Terdiri dari 80 % atau lebih silt dan kurang dari 12 % clay

g. Sandy Clay Loam

Terdiri dari 20 hingga 35 % clay, kurang dari 28 % silt dan 45 % atau lebih sand

h. Clay Loam

Terdiri dari 27 hingga 40 % clay dan 20 hingga 45 % sand

i. Silty Clay Loam

Terdiri dari 27 hingga 40 % atau lebih clay dan kurang dari 20 % atau lebih sand

j. Sandy Clay

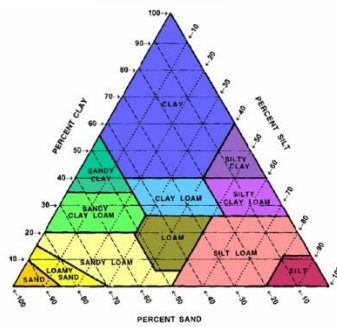
Terdiri dari 25 % atau lebih clay dan 45 % atau lebih pasir

k. Silty Clay

Terdiri dari 40 % atau lebih clay dan 40 % atau lebih silt

m. Clay

Terdiri dari 40 % atau lebih clay, kurang dari 45 % pasir dan kurang dari 40 % silt



Gambar 2.20 Soil Texture Triangle (USDA, 1987)

2.2.13.3 Data Tanah berdasarkan SPT *Corelation*

Tabel 2.7 Korelasi N- ϕ

SPT-N Value	Internal friction angle, ϕ	
	Peck	Meyerhof
<4	<28,5	<30
4-10	28,5 – 30	30 – 35
10-30	30 – 36	35 – 40
30-50	36 – 41	40 – 45
>50	>41	>45

Tabel 2.8 SPT Corelation for Cohesive Soil

N	0-10	11-30	31-50	>50
γ	12-16	14-18	16-20	18-23
Type	Loose	Medium	Dense	Very Dense

Tabel 2.9 SPT Corelation for Cohesionless Soil

N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
γ	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
Type	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Keterangan

N = SPT Number
 γ = Unit weight of soil

2.2.14 Liquefy 4

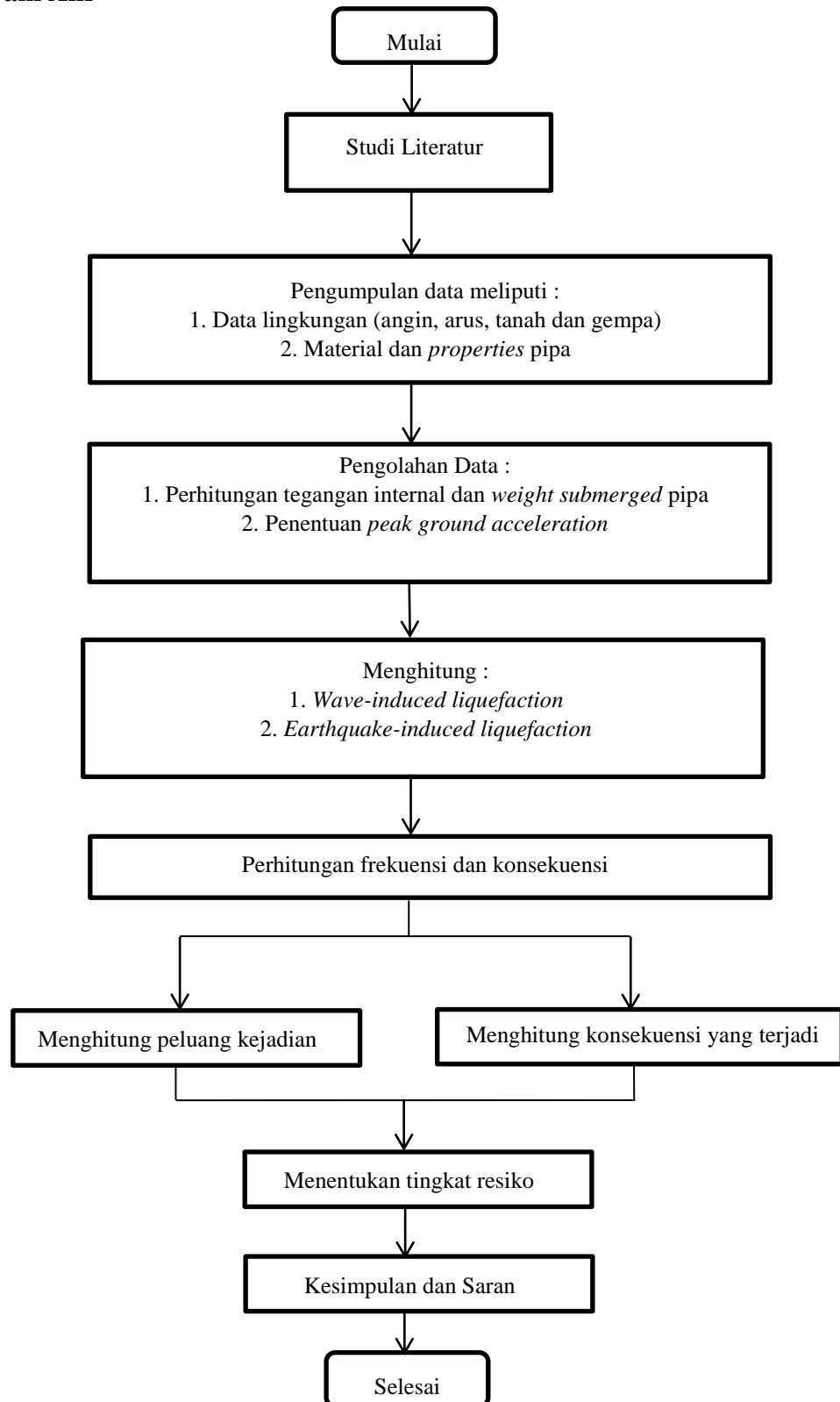
Liquefy4 adalah perangkat lunak yang mengevaluasi potensi pencairan dan menghitung penurunan tanah akibat beban gempa. Program ini didasarkan pada publikasi terbaru dari Lokakarya NCEER dan Implementasi SP117. Pengguna dapat memilih antara beberapa metode yang berbeda untuk evaluasi pencairan: salah satu metode untuk SPT dan BPT, dan empat metode untuk data CPT. Setiap metode memiliki pilihan yang berbeda yang dapat diubah oleh pengguna. Pilihan termasuk Denda Koreksi, Hammer Jenis untuk uji SPT, dan Rata-rata Ukuran Butir (D50) untuk CPT. Analisis penyelesaian dapat dilakukan dengan dua metode yang berbeda.

Parameter yang di masukkan adalah :

Data input	Keterangan
1. Project Title	Pemilihan nama proyek
2. Subtitle.	Pemilihan judul pendukung
3. PGA (g)	Memasukkan nilai percepatan gempa semisal 2,5g maka “2,5”
4. Magnitude	Memasukkan besarnya skala gempa
8. Water Table during Earthquake	Water table pada saat terjadi gempa
9. Water Table In-Situ Testing	Water table saat tes CPT, SPT, atau BPT. Jika tidak diketahui, maka gunakan seperti diatas

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk meningkatkan pemahaman mengenai topik yang akan dibahas untuk itu studi literatur yang dilakukan sebagai berikut :

- a. Studi literatur mengenai pipa bawah laut
- b. Studi literatur mengenai analisis resiko
- c. Studi literatur mengenai gempa bumi dan *geohazards*
- d. Studi literatur mengenai lokasi studi yaitu Abadi Gas Field

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sesuai dengan lokasi studi yaitu di lapangan gas Abadi. Data yang dikumpulkan berupa data lingkungan, properti pipa dan data –data yang diperlukan terkait tugas akhir

3. Menghitung tegangan internal dan berat terendam pipa (*weight submerged*)

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui berat pipa baik pada saat di udara, berat tercelup pipa dan bouyancy pipa pada saat berada dalam air serta tegangan internal pada pipa untuk mengetahui kemungkinan terjadinya kegagalan pada internal pipa.

4. Perhitungan *soil liquefaction*

Perhitungan *soil liquefaction* terbagi atas *wave-induced liquefaction* dan *earthquake-induced liquefaction*. *Wave-induced liquefaction* berfokus pada penurunan tanah akibat gelombang sedangkan *earthquake-induced liquefaction* penurunan tanah akibat gempa

5. Menghitung bentangan bebas pipa (*free-span*)

Perhitungan bentangan bebas pada pipa bertujuan untuk mendapatkan bentangan yang diizinkan sehingga tidak terjadi kegagalan

6. Menghitung frekuensi kegagalan

Frekuensi kegagalan mengacu kepada jumlah terjadinya gempa sesuai peninjauan data yaitu selama 1900-2015

7. Menghitung konsekuensi kegagalan

Konsekuensi kegagalan mengacu kepada panjang bentangan yang diizinkan agar tidak terjadi *local buckling* akibat gempa

8. Menghitung analisis resiko

Analisis resiko didapatkan dari hasil perhitungan frekuensi dan konsekuensi lalu memasukkan ke dalam matriks resiko.

Dalam menghitung analisis resiko pipa terbagi atas beberapa proses pengerjaan yaitu :

- a. Perhitungan penurunan tanah akibat gempa dari tahun 1900-2016
- b. Menghitung span maksimum berdasarkan momen tekuk yang terjadi pada pipa
- c. Memprediksi panjang span yang terjadi berdasarkan skala gempa
- d. Memperhitungkan panjang span yang terjadi pada masa yang akan datang dengan tiga macam kondisi yaitu : kondisi terbaik, sedang dan buruk.
 - Kondisi terbaik : 20 kejadian gempa pada zona 9
 - Kondisi sedang : 20 kejadian gempa pada setiap zona masing-masing sebanyak 2 kali
 - Kondisi buruk : 20 kejadian gempa pada zona 1
- e. Menghitung analisis resiko berdasarkan kejadian yang terjadi.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan data

Terkait dengan studi kasus yang dilakukan di lapangan gas Abadi, diperlukan data-data yang berkaitan dengan judul yang membahas mengenai pengaruh gempa pada pipa bawah laut seperti profil kedalaman laut, data statistik gempa yang terjadi, *properties* pipa dan lain sebagainya.

Tabel 4.1 Data *Properties* Pipa

Paramater	Value	Unit
Pipeline Length	312	km
Outside Diameter	355,6	mm
Wall Thickness		
Pipeline (KP 0 - 0.5)	12,7	mm
Pipeline (KP 0.5 - 300.59)	11,1	mm
Corrosion Allowance	3	mm
Wall thickness 10% corroded	12,4	mm
Inner diameter	330,2	mm
Maximum Ovality	1,50%	
Pipeline Material		
Pipe Grade	API 5L X65	
Pipe manufacturing type	HFERW	
SMYS	535	MPa
SMTS	450	MPa
Young's Modulus	207000	MPa
Steel Density	7850	kg/m3
Poisson Ratio	0,3	
Weld joint factor	1	
Thermal Expantion Coefficient	$11,7 \times 10^{-6}$	
Thermal Conductivity	45	W/m.K
Structural damping	0,126	
Density	3044	kg/m3

Tabel 4.2 Data Pipa kondisi Operasi

Parameter	Abbr.	Data	Unit
Design temperature	Td	90	°C
- KP 0.0 – 1.0		70	
- KP 1.0 – 300.59			
Maximum operating temperature	MOT	60	°C
Maximum operating pressure	MOP	123,9	barg
Design pressure	Pd	140	barg
Pipeline hydrotest pressure	Phyd	161,7	barg
Content data			
· Installation	Air		
- Material			
- Density	ρ_{air}	-	kg/m ³
· Hydrotest	Seawater		
- Material			
- Density	ρ_{sw}	1025	kg/m ³
· Operating	Gas		
- Material			
- Density	ρ_g	83,53	kg/m ³

Data Lingkungan

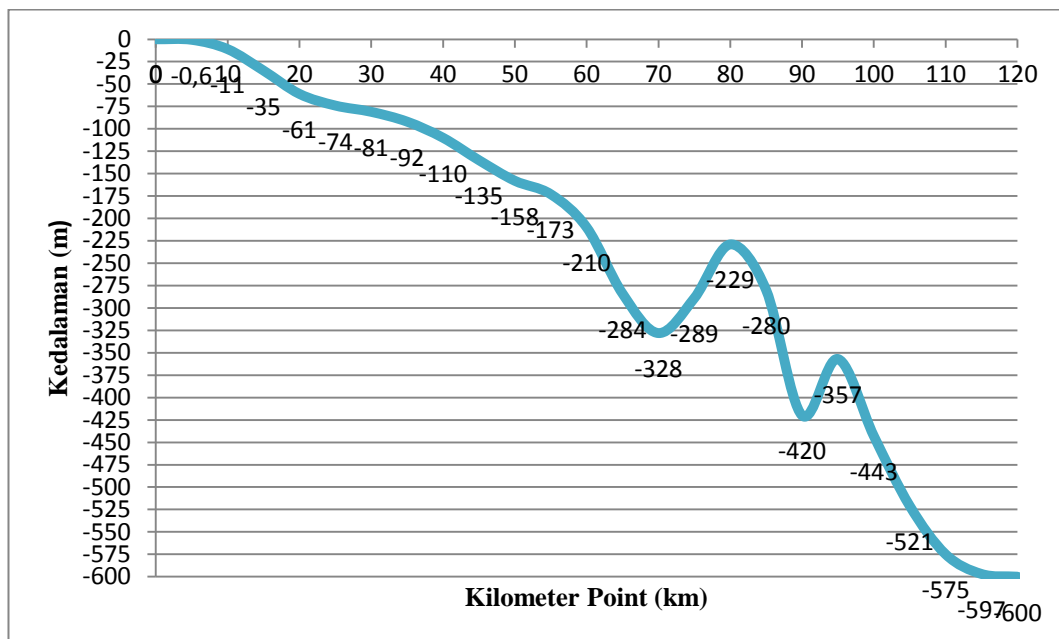
Tabel 4.3 Data Kedalaman dan Pasang Surut

ID	Value	Unit
Water Depth	600	m
Tide Level		
HAT	1,27	m
MSL	0	m
LAT	-1,62	m

Tabel 4.4 Data Profil Lokasi Studi : Abadi Gas Field

Intensity Parameters	Unit	Wind Peak (m)	Wave Peak (m)	Current Peak (m)
Vw	m/s	17,04	15,33	14,02
Hs	m/s	4,46	4,74	4,2
Tp	s	8,58	8,83	8,35
y	-	1,23	1,24	1,22
Vc	m/s	0,56	0,56	0,74
Seabed temperature		30.5	°C	
Minimum Seabed temperature		23.5	°C	
Seawater density		1025	kg/m ³	
Seawater kinematic viscosity		9.6x10 ⁻⁷		

Tabel 4.5 Profil Kedalaman Laut Lokasi Studi : Abadi Gas Field



Gambar 4.1 Profil kedalaman laut lokasi studi

Data Tanah

Data Tanah yang digunakan adalah dengan data tanah yang sesuai dengan pemodelan pada *software* Liquefy4 dengan susunan model tanah sebagai berikut :

Untuk jenis tanah *Sand* maka komposisinya sebagai berikut :

Tabel 4.6 Komposisi tanah pasir

Hole Depth	SPT	G	Fines
0	4	12	0
1	7	12	2,5
2	11	13	5
3	15	13	7,5
4	19	14	10
5	21	14	12,5
6	23	15	15
7	25	15	17,5
8	27	16	20
9	29	17	22,5
10	30	18	25

Untuk jenis tanah *Clay* maka komposisinya sebagai berikut :

Tabel 4.7 Komposisi tanah lempung

Hole Depth	SPT	G	Fines
0	2	14	40
1	4	14	45
2	5	14	47
3	7	14	49
4	8	14	51
5	10	15	54
6	11	15	56
7	12	15	59
8	13	16	62
9	14	17	64
10	15	18	65

Data Gempa

Data gempa yang diperlukan adalah selama 100 tahun terakhir yang berada di sekitar lokasi studi dengan Mw 6-9 (dianggap destruktif) dan diperoleh dari USGS (*United States Geographical Survey*).

Tabel 4.8 Data gempa selama 100 tahun

Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)
1918	11	23	Banda Sea	6,9	15
1927	6	3	Banda Sea	7,5	35
1944	3	31	Banda Sea	6,4	65
1950	11	2	Banda Sea	7,7	199,7
1953	4	6	Kepulauan Tanimbar	6,3	63,3
1955	7	23	Kepulauan Barat Daya	6,5	35
1960	10	7	Kepulauan Tanimbar	6,7	35
1962	5	15	Kepulauan Barat Daya	7,1	30,2
1963	11	4	Banda Sea	8,1	65
1963	2	14	Kepulauan Barat Daya	6,6	220
1964	7	8	Banda Sea	6,9	190
1964	3	21	Banda Sea	6,8	359,1
1965	11	21	Banda Sea	6,5	133,3
1965	8	20	Banda Sea	6,7	330
1965	5	12	Banda Sea	6,1	153,1
1965	4	27	Banda Sea	6	30
1966	2	13	Kepulauan Tanimbar	6	35
1967	10	12	Kepulauan Babar	6	88,2
1967	3	19	Banda Sea	6,2	97,7
1968	9	27	Banda Sea	6	150,6

Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)
1968	1	14	Kepulauan Barat Daya	6	116
1969	8	8	Banda Sea	6,6	176,2
1969	4	13	Banda Sea	6,4	167,5
1969	2	24	Banda Sea	6,2	35
1971	9	16	Banda Sea	7	131
1972	9	24	Kepulauan Tanimbar	6,8	35
1974	10	29	Banda Sea	6,5	117
1974	3	6	Banda Sea	6,3	26
1975	10	17	Kepulauan Barat Daya	6,3	109
1976	8	21	Banda Sea	6	120
1980	6	16	Kepulauan Barat Daya	6	167
1981	10	17	Kepulauan Barat Daya	6,1	179
1983	11	24	Kepulauan Barat Daya	7,3	178,5
1983	11	20	Kepulauan Tanimbar	6,1	59,3
1983	8	6	Banda Sea	6	160
1984	2	17	Banda Sea	6	158,1
1985	3	25	Banda Sea	6,2	248,5
1987	6	17	Banda Sea	7,1	67,3
1988	5	30	Kepulauan Barat Daya	6,9	86,3
1988	2	6	Kepulauan Tanimbar	6,2	38,5
1990	9	23	Banda Sea	6,5	33
1991	11	7	Kepulauan Barat Daya	6,3	140,2

Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)
1991	10	15	Banda Sea	6,2	136,8
1992	12	20	Banda Sea	7,3	77,7
1992	10	18	Banda Sea	6,2	118,9
1992	5	4	Banda Sea	6,1	86,1
1993	12	20	Kepulauan Tanimbar	6,3	7,7
1993	10	5	Banda Sea	6,6	13,1
1993	1	20	Kepulauan Barat Daya	6,4	33
1994	8	4	Kepulauan Tanimbar	6,2	33
1995	12	25	Banda Sea	7,1	141,9
1995	9	18	Banda Sea	6	180,6
1997	11	3	Banda Sea	6,1	215,6
1997	7	31	Banda Sea	6	58,6
1998	11	9	Banda Sea	7	33
1998	11	9	Banda Sea	6,7	33
2000	3	3	Kepulauan Barat Daya	6,4	141,9
2001	11	20	Banda Sea	6,2	33
2001	5	28	Kepulauan Tanimbar	6	33
2002	3	19	Banda Sea	6,1	148,1
2003	3	9	Banda Sea	6	45,9
2004	6	25	Banda Sea	6,1	70,5
2005	3	2	Banda Sea	7,1	201,7
2006	11	14	Banda Sea	6,1	345
2007	12	15	Kepulauan Tanimbar	6,4	57
2008	11	7	Banda Sea	6,2	10
2008	8	4	Banda Sea	6,3	173,9
2008	6	6	Kepulauan Barat Daya	6	122

Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)
2008	2	13	Timor Sea	6,2	19
2009	12	26	Banda Sea	6,1	85
2009	10	24	Banda Sea	6,9	130
2009	1	22	Kepulauan Barat Daya	6,1	146,7
2010	12	15	Kepulauan Barat Daya	6	134,9
2010	2	15	Kepulauan Barat Daya	6,2	126
2012	12	10	Banda Sea	7,1	155
2013	12	1	Kepulauan Barat Daya	6,4	9,9
2013	9	1	Kepulauan Barat Daya	6,5	112
2013	8	12	189km WNW of Saumlaki	6	95
2014	12	6	223 NNW of Saumlaki	6	116
2014	8	6	Kepulauan Barat Daya	6,2	10
2015	11	21	176km WNW of Saumlaki	6,1	82
2015	11	21	Kepulauan Babar	6	82

4.2 Analisis Stabilitas Pipa

Kestabilan pipa di dasar laut sangat dipengaruhi oleh berat pipa yang berada di dasar laut. Dalam menganalisis stabilitas pipa, dilakukan dua macam stabilitas yaitu vertikal dan horizontal.

4.2.1 Stabilitas Vertikal

Analisis stabilitas vertikal diperlukan untuk mengetahui kestabilan secara vertikal dengan berat pipa di dalam air. Dalam perhitungan stabilitas pipa secara vertikal, terdapat beberapa hal yang harus diketahui nilainya, yaitu nilai hasil perhitungan berat pipa di udara, hasil perhitungan gaya apung pipa ketika tercelup air dan berat pipa tercelup, yaitu selisih antara berat pipa di udara dengan *buoyancy* pipa.

Sesuai dengan standar DNV RP E305 maka stabilitas vertikal adalah sebagai berikut :

$$SF_v = \frac{W_s + B}{B} \geq 1.1$$

Dari rumus tersebut, didapatkan hasil analisis sebagai berikut :

Tabel 4.9 Hasil perhitungan stabilitas vertikal

Kondisi	Stabilitas Vertikal		
	Ws	B	Check
	N/m	N/m	SFv > 1,1
Laut dangkal	1714,83	2316,54	1,74
Laut transisi	1714,83	2316,54	1,74
Laut dalam	1714,83	2316,54	1,74

4.2.2 Stabilitas Lateral

Stabilitas lateral diperlukan untuk menganalisis stabilitas pipa terhadap gaya-gaya hidrodinamis pada pipa seperti gaya *drag*, gaya inersia dan gaya angkat. Gaya – gaya hidrodinamis seperti gaya *drag*, gaya angkat dan gaya inersia yang bekerja pada pipa tersebut diasumsikan bekerja secara tegak lurus terhadap pipa dengan dilawan oleh gaya normal dan gesekan pipa dengan *seabed*. Sesuai dengan standar DNV RP E305 maka stabilitas lateral adalah sebagai berikut :

$$SF_l = \frac{(W_s - F_L)\mu}{F_D + F_l} \geq 1.1$$

Dari rumus tersebut, didapatkan hasil analisis sebagai berikut :

Tabel 4.10 Hasil perhitungan stabilitas lateral

Kondisi	Stabilitas Lateral					
	FD	FI	FL	Ws	μ	Check
	N/m	N/m	N/m	N/m		SFL > 1,1
Laut dangkal	10,60	334,91	13,62	1714,83	0,5	2,46
Laut transisi	107,73	334,91	138,51	1714,83	0,5	1,78
Laut dalam	211,92	334,91	272,47	1714,83	0,5	1,32

4.3 Analisis Tegangan Internal Pipa

Berdasarkan DNV, tegangan internal (normal) dibagi atas *hoop stress*, *longitudinal stress* dan *combine stress*. Pipa dinilai mampu beroperasi jika besarnya combined stress lebih kecil dari batas minimum kriteria yaitu lebih besar dari 0,9 SMYS. Hasil dari analisis tegangan berdasarkan pembagian kedalaman laut adalah sebagai berikut :

Pembagian kedalaman laut berdasarkan fungsi d/L :

Tabel 4.11 Pembagian kedalaman laut

d/L	Kedalaman
Laut dangkal	0 – 6 m
Laut transisi	6 – 61 m
Laut dalam	61 – 600 m

Perhitungan tegangan internal pipa adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Hasil perhitungan tegangan internal pipa

Depth (m)	Internal Pressure (MPa)	External Pressure (MPa)	ΔP	Diameter (m)	Wall Thickness (m)	Hoop Stress (MPa)	Longitudinal Stress (MPa)	Combined Stress (MPa)	Status
6	14	0,06	13,94	0,3556	0,011	225,32	112,66	195,13	OK
60	14	0,60	13,40	0,3556	0,011	216,54	108,27	187,53	OK
120	14	1,21	12,79	0,3556	0,011	206,79	103,39	179,08	OK
600	14	6,03	7,97	0,3556	0,011	128,77	64,39	111,52	OK

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan kesimpulan bahwa pada kedalaman maksimum pun pipa masih berada dalam kondisi aman karena masih memenuhi syarat minimum yaitu kurang dari 0,9 kali dari SMYS sesuai dengan ketentuan DNV OS-F-101.

4.4 *Soil Liquefaction*

4.4.1 *Wave-Induced Liquefaction*

Perhitungan *wave-induced liquefaction* dilakukan untuk mengetahui pengaruh gelombang dapat mempengaruhi kondisi tanah. Kondisi tanah yang dimaksud adalah berkurangnya kekuatan tanah sehingga air naik ke permukaan dan tanah menjadi mampat ke bawah. Pembagian daerah peninjauan likuifaksi di lapangan gas Abadi dibagi berdasarkan kriteria kedalaman relatif ($\frac{d}{L}$).

Berdasarkan konfigurasi kedalaman tempat meletaknya pipa bawah laut, maka kriteria kedalaman relatifnya terbagi sebagai berikut :

d/L	Kedalaman
Laut dangkal	0 – 6 m
Laut transisi	6 – 61 m
Laut dalam	61 – 600 m

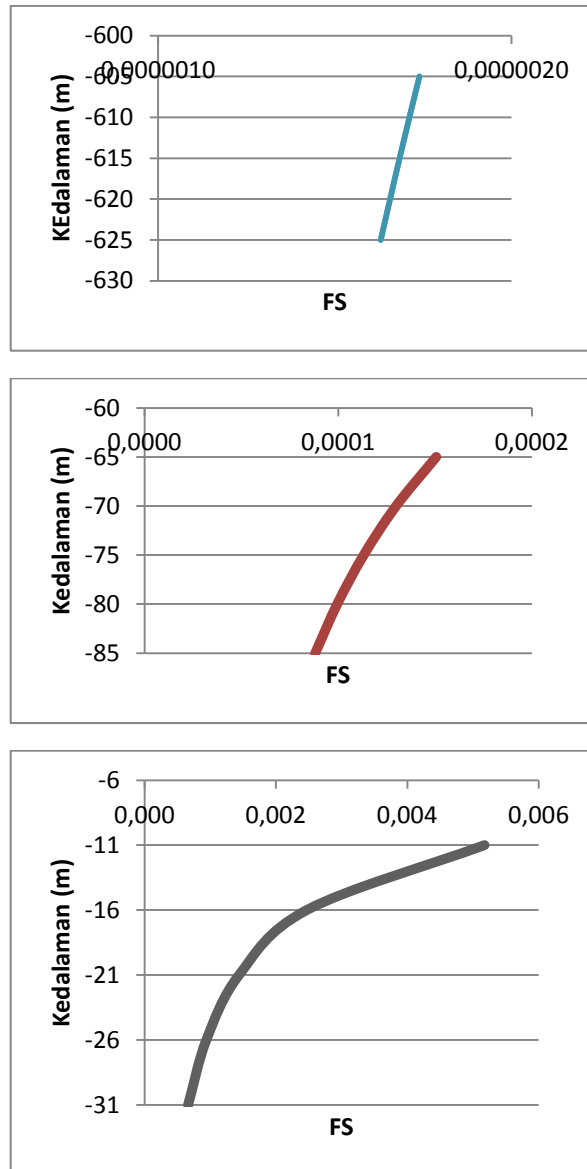
Dari hasil pembagian konfigurasi tersebut, akan ditinjau pada kedalaman maka laut mulai terlikuifaksi.

Tabel 4.13 Hasil perhitungan *wave-induced liquefaction*

Kedalaman (m)	Pore Pressure (Pa)	Kekuatan Geser (Pa/m)	Factor Safety
600	91352,07	0,162	1,8E-06
555	86455,95	0,179	2,1E-06
510	82050,30	0,201	2,4E-06
465	78082,56	0,230	2,9E-06

Kedalaman (m)	Pore Pressure (Pa)	Kekuatan Geser (Pa/m)	Factor Safety
420	74507,87	0,269	3,6E-06
375	71287,81	0,323	4,5E-06
330	68389,41	0,400	5,8E-06
285	65784,35	0,516	7,8E-06
240	63448,29	0,701	1,1E-05
195	61360,35	1,027	1,7E-05
150	59502,64	1,683	2,8E-05
105	57859,95	3,340	5,8E-05
62	56479,34	9,349	0,0002
61	56449,35	9,653	0,0002
55	56271,40	11,835	0,0002
49	56096,82	14,862	0,0003
43	55925,61	19,235	0,0003
37	55757,74	25,891	0,0005
31	55593,18	36,751	0,0007
25	55431,93	56,282	0,0010
19	55273,95	96,937	0,0018
13	55119,23	205,198	0,0037
7	54967,74	685,874	0,0125
6	54942,81	919,793	0,0167
5	54917,97	1292,968	0,0235
4	54893,21	1934,732	0,0352
3	54868,55	3143,736	0,0573
2	54843,97	5586,361	0,1019
1	54819,48	8724,792	0,1592

Berdasarkan konfigurasi lautan, maka dibagi pada kedalaman 6 m, 60 m, dan 600 m. Dari konfigurasi tersebut, ditinjau kembali per kedalaman lima meter di bawah permukaan laut. Maka, didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.2 (a) Hubungan kedalaman laut dengan faktor keamanan pada kedalaman 600 m, (b) Hubungan kedalaman laut dengan faktor keamanan pada kedalaman 60 m, (c) Hubungan kedalaman laut dengan faktor keamanan pada kedalaman 6 m

4.4.2 Earthquake-Induced Liquefaction

Perhitungan *earthquake-induced liquefaction* dilakukan untuk mengetahui pengaruh gempa dapat mempengaruhi kondisi tanah. Kondisi tanah yang dimaksud adalah berkurangnya kekuatan tanah sehingga air naik ke permukaan dan tanah menjadi mampat ke bawah.

Data tanah yang digunakan adalah dengan memodelkan pada software *Liquefy4* dengan susunan model tanah sebagai berikut :

Pemodelan tanah A tipe sand

<i>Hole Depth</i>	<i>SPT</i>	<i>G</i>	<i>Fines</i>
0	4	12	0
1	7	12	2,5
2	11	13	5
3	15	13	7,5
4	19	14	10
5	21	14	12,5
6	23	15	15
7	25	15	17,5
8	27	16	20
9	29	17	22,5
10	30	18	25

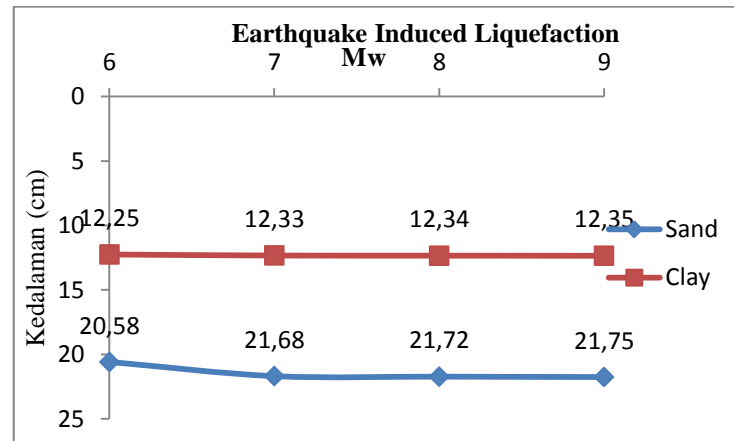
Pemodelan tanah B tipe clay

<i>Hole Depth</i>	<i>SPT</i>	<i>G</i>	<i>Fines</i>
0	2	14	40
1	4	14	45
2	5	14	47
3	7	14	49
4	8	14	51
5	10	15	54
6	11	15	56
7	12	15	59
8	13	16	62
9	14	17	64
10	15	18	65

Tabel 4.14 Hasil pemodelan pada *Liquefy4*

PGA	Mw	Soil	Settlement (cm)
0,45	6	Sand	20,58
	7		21,68
	8		21,72
	9		21,75
0,45	6	Clay	12,25
	7		12,33
	8		12,34
	9		12,35

❖ Grafik penurunan tanah untuk tanah pasir dan lempung



Gambar 4.3 Hubungan penurunan tanah dengan besar gempa berdasarkan metode *earthquake-induced liquefaction*

4.5 Perhitungan bentangan bebas (*free-span*) dan *local buckling* pipa

4.5.1 Penentuan zona gempa

Dalam menentukan bentangan bebas pada pipa bawah laut akibat gempa, diperlukan data penurunan tanah akibat gempa yang dikelompokkan berdasarkan zona gempa sebagai berikut :

Tabel 4.15 Pembagian zona gempa

Zona Gempa	Mw	PGA	Jumlah Kejadian
I	6,4	0,31	7
II	6,5	0,1	17

Zona Gempa	Mw	PGA	Jumlah Kejadian
III	6,1	0,0425	4
IV	6,9	0,0532	6
V	6,2	0,0229	8
VI	6,2	0,015	7
VII	6,4	0,0117	17
VIII	6,45	0,0082	6
IX	6,62	0,0052	10

Berdasarkan zona gempa tersebut, perhitungan penurunan tanah yang terjadi pada kedalaman maksimum adalah sebagai berikut :

Tabel 4.16 Hasil perhitungan penurunan tanah pada kedalaman maksimum

Zona Gempa	Mw	PGA	Jumlah Kejadian	Settlement pipa (cm)	
				<i>Sand</i>	<i>Clay</i>
I	6,4	0,31	7	84,77	63,42
II	6,5	0,1	17	158,1	107,44
III	6,1	0,0425	4	11,72	0
IV	6,9	0,0532	6	40,56	3,66
V	6,2	0,0229	8	0,8	0
VI	6,2	0,015	7	0	0
VII	6,4	0,0117	17	0	0
VIII	6,45	0,0082	6	0	0
IX	6,62	0,0052	10	0	0
Total Penurunan				295,95	174,52

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan jumlah penurunan tanah yang terjadi sebesar 295,95 cm pada tanah berpasir dan 174,52 cm pada tanah lempung.

4.5.2 Perhitungan panjang span kritis

Setelah mendapatkan nilai penurunan tanah, dilanjutkan dengan perhitungan momen bending dan *analisis local buckling*. Panjang bentangan kritis akan ditemukan sesuai dengan perhitungan kriteria *local buckling* (DNV OS-F 101) yaitu sebagai berikut :

$$\left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p(t_2)} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}(p_i)}{\alpha_c \cdot S_p(t_2)} \right\}^2 \right\} + \left(\alpha_p \cdot \frac{p_i - p_e}{\alpha_c \rho_b(t_2)} \right)^2 \leq 1$$

Perhitungan kriteria kegagalan akibat *load combine criteria* untuk faktor eksternal. Maka, panjang span kritis berdasarkan momen *bending* akibat pengaruh penurunan tanah adalah sebagai berikut :

Tabel 4.17 Hasil perhitungan momen tekuk berdasarkan panjang bentangan

Soil Type	Span Length	Bending Moment	Ratio	Check
	m	10 ⁶ Nm		
Sand	0,5	0,016	0,07	OK
	1	0,065	0,15	OK
	1,5	0,147	0,38	OK
	2	0,261	0,92	OK
	2,5	0,409	1,98	FAIL
	3	0,589	3,85	FAIL
	3,5	0,802	6,85	FAIL
Clay	0,5	0,003	0,06	OK
	1	0,010	0,07	OK
	1,5	0,024	0,08	OK
	2	0,042	0,11	OK
	2,5	0,065	0,15	OK
	3	0,094	0,22	OK
	3,5	0,128	0,32	OK

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa pada tanah pasir, pipa mengalami bentangan kritis pada panjang 2 meter sedangkan pada tanah lempung pipa mengalami belum mengalami bentangan kritis hingga bentangan 3,5 meter.

Dalam menentukan kriteria *local buckling* juga diperlukan perhitungan *ovality*. *Ovality* adalah penyimpangan penampang pipa dari bentuk lingkaran lalu menjadi elips akibat *impact* mekanik eksternal. penyimpangan penampang pipa dari bentuk lingkaran lalu menjadi elips akibat *impact* mekanik eksternal., dengan kriteria menurut DNV OS-F101 bahwa *ovality* tidak boleh kurang dari 0,5% dan lebih dari 3%. Maka, *ovality* dari pipa adalah sebagai berikut :

$$\frac{0,3556 - 0,3456}{0,3556} = 0,03$$

Dari hasil perhitungan *ovality* maka didapatkan nilai 0,03 atau 3% sehingga pipa dianggap aman.

4.5.3 Prediksi kondisi pipa di masa yang akan datang

Dengan kejadian gempa selama 100 tahun rata-ratanya selama satu kali dalam satu tahun, maka untuk skenario kondisi pipa bawah laut dalam 20 tahun adalah sebagai berikut :

Kondisi A : Kondisi terjadinya gempa selama 20 tahun pada zona 9 (zona terjauh).

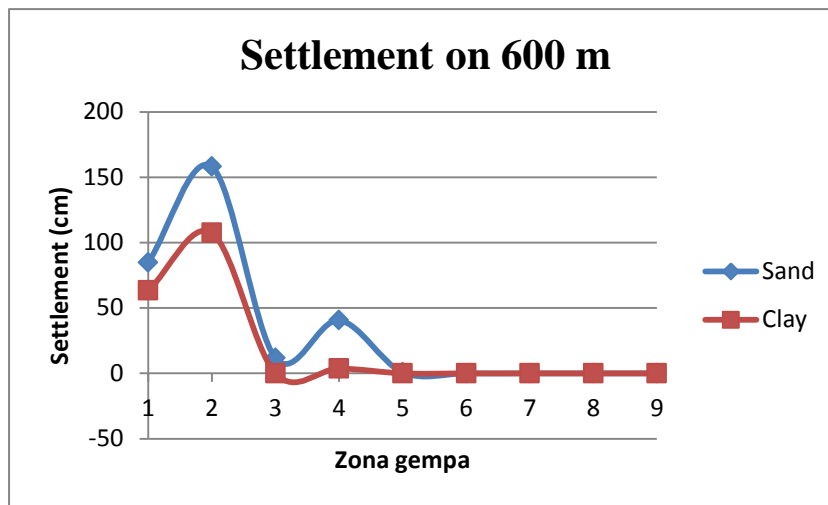
Kondisi B : Kondisi terjadinya gempa selama 20 tahun pada masing-masing zona minimal 2 kali.

Kondisi C : Kondisi terjadinya gempa selama 20 tahun pada zona 9 (zona terjauh).

Dari kondisi tersebut didapatkan hasil penurunan tanah sebagai berikut :

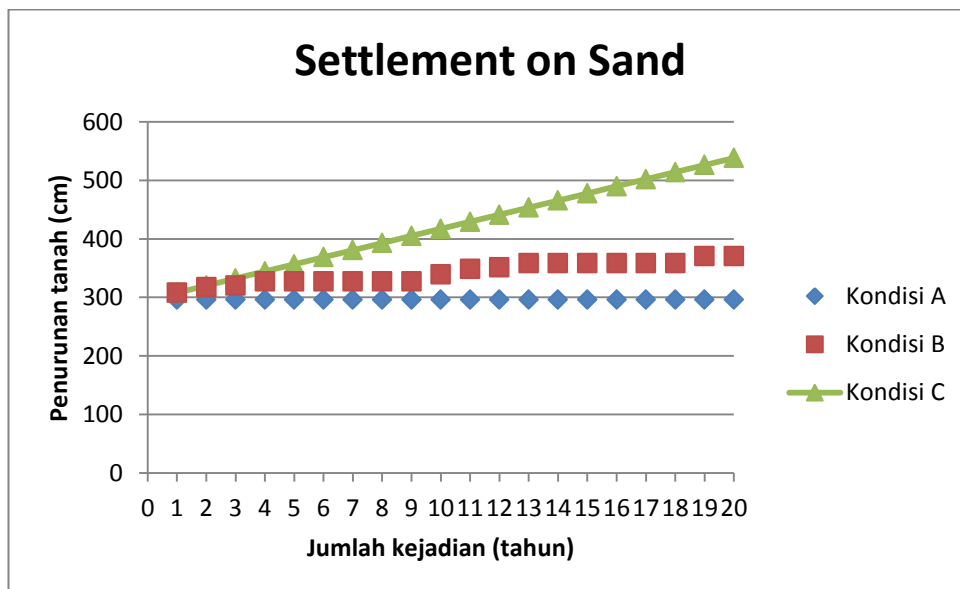
Tabel 4.18 Pembagian kondisi gempa

Kondisi	Jenis Tanah		Total Penambahan (cm)	
	Sand	Clay	Sand	Clay
A	0	0	295,95	144,52
B	74,51	41,04	370,46	215,56
C	242,2	181,2	538,15	355,72

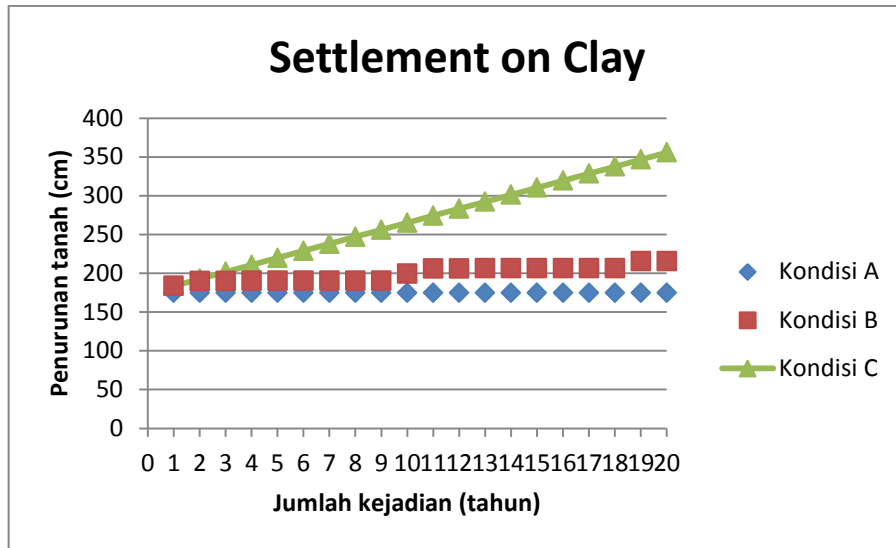


Gambar 4.4 Hubungan penurunan tanah pada kedalaman 600 m sesuai dengan zona gempa

Pada kondisi A, tanah tidak mengalami perubahan sama sekali dari zona 9, namun pada kondisi B dan C mengalami kondisi yang signifikan perubahannya hingga mencapai 6 meter total penurunan tanah yang terjadi, oleh karena itu dilakukan perhitungan bentangan kritis sesuai dengan kondisi yang terjadi :

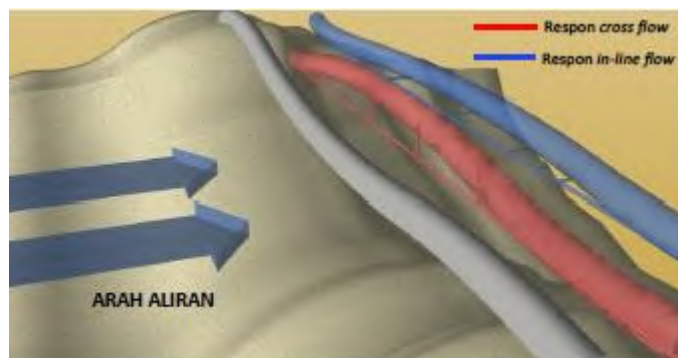


Gambar 4.5 Penurunan tanah sesuai kondisi tanah pasir



Gambar 4.6 Penurunan tanah sesuai kondisi tanah lempung

Analisis *freespan* terbagi menjadi dua kriteria yaitu analisis *freespan* statis dan dinamis. Dalam analisis pada penelitian ini menggunakan analisis dinamis karena mempehitungkan pengaruh *bending moment* pada saat kondisi terjadinya gempa dan mempertimbangkan pengaruh *vortex-induced vibration* yang ditulis oleh Dong et al. Analisis ini memperhitungkan pipa pada arah *cross-flow* dikarenakan pengaruh yang terjadi lebih signifikan dibandingkan arah *in line*.



Perhitungan momen *bending* berdasarkan jurnal Dong et al. mempertimbangkan pengaruh *vortex-induced vibration* dikarenakan pengaruh terjadinya gempa dengan perbandingan nilai *span gap ratio* yang semakin besar sehingga panjang span yang diizinkan juga semakin pendek.

Kondisi A

Tabel 4.19 (a) Panjang bentangan pada tanah pasir (b) Panjang bentangan pada tanah lempung

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Bending Moment (10^6 MPa)	Ratio	Check
0,5	2864,84	0,01637	0,07	OK
1	2864,84	0,06549	0,15	OK
1,5	2864,84	0,147	0,39	OK
2	2864,84	0,261	0,92	OK
2,5	2864,84	0,409	1,99	FAIL
3	2864,84	0,5894	3,83	FAIL
3,5	2864,84	0,8023	6,84	FAIL

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Bending Moment (10^6 MPa)	Ratio	Check
0,5	1740,9	0,00262	0,003	OK
1	1740,9	0,0104	0,010	OK
1,5	1740,9	0,0235	0,024	OK
2	1740,9	0,0419	0,042	OK
2,5	1740,9	0,0654	0,065	OK
3	1740,9	0,194	0,094	OK
3,5	1740,9	0,2283	0,128	OK

Kondisi B

Tabel 4.20 (a) Panjang bentangan pada tanah pasir (b) Panjang bentangan pada tanah lempung

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Bending Moment (106 MPa)	Ratio	Check
0,5	3618,74	0,0174	0,05	OK
1	3618,74	0,0698	0,22	OK
1,5	3618,74	0,1571	0,49	OK
2	3618,74	0,2794	0,86	OK
2,5	3618,74	0,4366	1,35	FAIL
3	3618,74	0,6287	1,94	FAIL
3,5	3618,74	0,8557	2,65	FAIL

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Bending Moment (10 ⁶ MPa)	Ratio	Check
0,5	2284,93	0,0087	0,03	OK
1	2284,93	0,0349	0,11	OK
1,5	2284,93	0,0785	0,24	OK
2	2284,93	0,1397	0,43	OK
2,5	2284,93	0,2183	0,68	OK
3	2284,93	0,3143	0,97	OK
3,5	2284,93	0,4278	1,32	FAIL

Kondisi C

Tabel 4.21 (a) Panjang bentangan pada tanah pasir (b) Panjang bentangan pada tanah lempung

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Bending Moment (10^6 MPa)	Ratio	Check
0,5	4161,551	0,0436	0,11	OK
1	4161,551	0,1746	0,49	OK
1,5	4161,551	0,3929	1,86	FAIL
2	4161,551	0,6986	5,29	FAIL
2,5	4161,551	1,091	12,36	FAIL
3	4161,551	1,571	24,94	FAIL
3,5	4161,551	2,139	45,60	FAIL

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Bending Moment (10^6 MPa)	Ratio	Check
0,5	2720,148	0,0262	0,09	OK
1	2720,148	0,1048	0,24	OK
1,5	2720,148	0,2567	1,08	FAIL
2	2720,148	0,4191	2,09	FAIL
2,5	2720,148	0,6549	4,71	FAIL
3	2720,148	0,9431	9,34	FAIL
3,5	2720,148	1,283	16,85	FAIL

4.6 Analisis Resiko

4.6.1 Menghitung besar frekuensi kegagalan

Frekuensi kegagalan dihitung berdasarkan jumlah kejadian gempa selama 116 tahun. Berdasarkan DNV RP-F 107, untuk menghitung frekuensi kegagalan

dibutuhkan jumlah kejadian gempa yang tertera pada Tabel 4. dibagi dengan jumlah tahun yang ditinjau. Maka, besar frekuensi kegagalan adalah :

$$Pof = \frac{82}{116} = 0,71$$

Besarnya frekuensi kegagalan mengacu pada jumlah gempa adalah sebesar 0,71.

4.6.2 Menghitung konsekuensi kegagalan

Konsekuensi kegagalan yang terjadi pada skenario kondisi pipa adalah sebagai berikut :

Kondisi A

Tabel 4.22 (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung

No	Length of Span (m)	Consequences
1	0-1	0
2	1-2	0
3	2-3	1
4	3-4	1

No	Length of Span (m)	Consequences
1	0-1	0
2	1-2	0
3	2-3	0
4	3-4	0

Kondisi B

Tabel 4.23 (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung

No	Length of Span (m)	Consequences
1	0-1	0
2	1-2	0,23

No	Length of Span (m)	Consequences
3	2-3	1
4	3-4	1

No	Length of Span (m)	Consequences
1	0-1	0
2	1-2	0
3	2-3	0,37
4	3-4	1

Kondisi C

Tabel 4.24 (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung

No	Length of Span (m)	Consequences
1	0-1	0
2	1-2	0,43
3	2-3	1
4	3-4	1

No	Length of Span (m)	Consequences
1	0-1	0
2	1-2	0
3	2-3	0,54
4	3-4	1

4.6.3 Menghitung ranking frekuensi kegagalan

Berdasarkan perhitungan pada sub-bab 4.6.1, nilai 0,71 masuk pada kategori 5 yaitu jumlah kejadian $> 10^2$ (DNV RP-F 107).

Table 13 Annual failure frequency ranking for one pipeline/umbilical		
Category	Description	Annual frequency
1 (low)	So low frequency that event considered negligible.	$<10^{-5}$
2	Event rarely expected to occur.	$10^{-4} > 10^{-5}$
3 (medium)	Event individually not expected to happen, but when summarised over a large number of pipelines have the credibility to happen once a year.	$10^{-3} > 10^{-4}$
4	Event individually may be expected to occur during the lifetime of the pipeline. (Typically a 100 year storm)	$10^{-2} > 10^{-3}$
5 (high)	Event individually may be expected to occur more than once during lifetime.	$>10^{-2}$

Frequency	Annual Frequency	Ranking (DNV)
$7,1 \times 10^{-1}$	$> 10^2$	5

4.6.4 Menghitung ranking konsekuensi kegagalan

Berdasarkan jurnal IPC, ranking konsekuensi kegagalan pipa adalah sebagai berikut :

Consequences Rank	Proposed Range of Calculated (P_{fail})
1	less than 0,1%
2	$0,1 \% < P_{fail} < 1\%$
3	$1 \% < P_{fail} < 10\%$
4	$10\% < P_{fail} < 50\%$
5	$P_{fail} > 50\%$

Tabel 4.25 (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung

No	Length of Span (m)	Ranking
1	0-1	1
2	1-2	1
3	2-3	5
4	3-4	5

No	Length of Span (m)	Ranking
1	0-1	1
2	1-2	1
3	2-3	4
4	3-4	5

Tabel 4.26 (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung

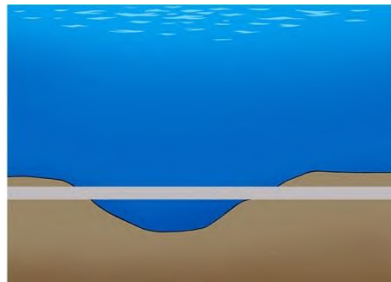
No	Length of Span (m)	Ranking
1	0-1	1
2	1-2	4
3	2-3	5
4	3-4	5

No	Length of Span (m)	Ranking
1	0-1	1
2	1-2	1
3	2-3	4
4	3-4	5

Tabel 4.27 (a) Konsekuensi pada tanah pasir (b) Konsekuensi pada tanah lempung

No	Length of Span (m)	Ranking
1	0-1	1
2	1-2	4
3	2-3	5
4	3-4	5

No	Length of Span (m)	Ranking
1	0-1	1
2	1-2	1
3	2-3	4
4	3-4	5



Gambar 4.7 Ilustrasi bentangan pipa pada tanah berpasir



Gambar 4.8 Ilustrasi bentangan pipa pada tanah lempung

4.6.5 Penyusunan Matriks Resiko

Berdasarkan ranking frekuensi dan konsekuensi kegagalan, maka matriks resikonya sebagai berikut :

PoF Ranking	PoF Description	A	B	C	D	E
5	(1) In a small population, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in the location.	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	(1) In a large population, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in operating company.	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components. (2) Failure has occurred in the operating company.	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	(1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry.	GREEN	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
CoF Types	Safety	No injury	Minor Injury Absence < 2 days	Major Injury Absence > 2 days	Simple Fatality	Multiple Fatalities
	Environment	No pollution	Minor local effect. Can be cleaned up easily.	Significant local effect. Will take more than 2 one week to remove.	Pollution has significant effect upon the surrounding ecosystem (e.g. incineration of toxic or flammable)	Pollution that can cause extensive and irreversible damage to ecosystem.
	Business	No downtime or asset damage	< € 10,000 damage or downtime < one shift	< € 100,000 damage or downtime < 4 shifts	< € 1,000,000 damage or downtime < one month	> € 10,000,000 damage or downtime one year
CoF Ranking		A	B	C	D	E

Tabel 4.28 (a) Matriks resiko pada tanah pasir **(b)** Matriks resiko pada tanah lempung

No	Length of Span (m)	Risk Analysis
1	0-1	ALARP
2	1-2	ALARP
3	2-3	NOT ACCEPTABLE
4	3-4	NOT ACCEPTABLE

No	Length of Span (m)	Risk Analysis
1	0-1	ALARP
2	1-2	ALARP
3	2-3	ALARP
4	3-4	NOT ACCEPTABLE

Tabel 4.29 (a) Matriks resiko pada tanah pasir (b) Matriks resiko pada tanah lempung

No	Length of Span (m)	Risk Analysis
1	0-1	ALARP
2	1-2	NOT ACCEPTABLE
3	2-3	NOT ACCEPTABLE
4	3-4	NOT ACCEPTABLE

No	Length of Span (m)	Risk Analysis
1	0-1	ALARP
2	1-2	ALARP

No	Length of Span (m)	Risk Analysis
3	2-3	NOT ACCEPTABLE
4	3-4	NOT ACCEPTABLE

Tabel 4.30 (a) Matriks resiko pada tanah pasir (b) Matriks resiko pada tanah lempung

No	Length of Span (m)	Risk Analysis
1	0-1	ALARP
2	1-2	NOT ACCEPTABLE
3	2-3	NOT ACCEPTABLE
4	3-4	NOT ACCEPTABLE

No	Length of Span (m)	Risk Analysis
1	0-1	ALARP
2	1-2	ALARP
3	2-3	NOT ACCEPTABLE
4	3-4	NOT ACCEPTABLE

LAMPIRAN A

Wave-Induced Liquefaction

A. Pore Pressure Distribution

$$p = \frac{\rho g H}{2} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+d)}{L}}{\cosh \frac{(2\pi d)}{L}} \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \right]$$

d	ρ (kg/m3)	g (m/s2)	H (m)	cosh 2pi(z+d)	cos 2pi d	cos (x/L)	P
-600	1025	9,81	4,74	1,643	0,857	1	91352,07
-555	1025	9,81	4,74	1,592	0,878	1	86455,95
-510	1025	9,81	4,74	1,543	0,896	1	82050,30
-465	1025	9,81	4,74	1,497	0,914	1	78082,56
-420	1025	9,81	4,74	1,453	0,929	1	74507,87
-375	1025	9,81	4,74	1,411	0,943	1	71287,81
-330	1025	9,81	4,74	1,372	0,956	1	68389,41
-285	1025	9,81	4,74	1,335	0,967	1	65784,35
-240	1025	9,81	4,74	1,300	0,977	1	63448,29
-195	1025	9,81	4,74	1,268	0,985	1	61360,35
-150	1025	9,81	4,74	1,237	0,991	1	59502,64
-105	1025	9,81	4,74	1,209	0,996	1	57859,95
-62	1025	9,81	4,74	1,183	0,998	1	56479,34
-61	1025	9,81	4,74	1,183	0,998	1	56449,35
-55	1025	9,81	4,74	1,179	0,999	1	56271,40
-49	1025	9,81	4,74	1,176	0,999	1	56096,82
-43	1025	9,81	4,74	1,173	0,999	1	55925,61
-37	1025	9,81	4,74	1,169	0,999	1	55757,74
-31	1025	9,81	4,74	1,166	1,000	1	55593,18
-25	1025	9,81	4,74	1,163	1,000	1	55431,93
-19	1025	9,81	4,74	1,160	1,000	1	55273,95
-13	1025	9,81	4,74	1,156	1,000	1	55119,23

d	ρ (kg/m3)	g (m/s2)	H (m)	cosh 2pi(z+d)	cos 2pi d	cos (x/L)	P
-7	1025	9,81	4,74	1,153	1,000	1	54967,74
-6	1025	9,81	4,74	1,153	1,000	1	54942,81
-5	1025	9,81	4,74	1,152	1,000	1	54917,97
-4	1025	9,81	4,74	1,152	1,000	1	54893,21
-3	1025	9,81	4,74	1,151	1,000	1	54868,55
-2	1025	9,81	4,74	1,151	1,000	1	54843,97
-1	1025	9,81	4,74	1,150	1,000	1	54819,48
0	1025	9,81	4,74	1,150	1,000	1	54795,09

B. Cyclic Shear Stress

$$\tau = \frac{2Pxz^2}{\pi(x^2 + z^2)^2}$$

d	Pore Pressure	Shear Stress
-600	91352,07	0,162
-555	86455,95	0,179
-510	82050,30	0,201
-465	78082,56	0,230
-420	74507,87	0,269
-375	71287,81	0,323
-330	68389,41	0,400
-285	65784,35	0,516
-240	63448,29	0,701
-195	61360,35	1,027
-150	59502,64	1,683
-105	57859,95	3,340
-62	56479,34	9,349
-61	56449,35	9,653
-55	56271,40	11,835
-49	56096,82	14,862
-43	55925,61	19,235

d	Pore Pressure	Shear Stress
-37	55757,74	25,891
-31	55593,18	36,751
-25	55431,93	56,282
-19	55273,95	96,937
-13	55119,23	205,198
-7	54967,74	685,874
-6	54942,81	919,793
-5	54917,97	1292,968
-4	54893,21	1934,732
-3	54868,55	3143,736
-2	54843,97	5586,361
-1	54819,48	8724,792
0	54795,09	0,000

Wave induced liquefaction ditinjau sedalam lima meter setiap lapisannya dan dianalisis apakah mengalami *liquefaction* atau tidak

Deep Sea

Depth	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H (m)	$\cosh 2\pi(z+d)$	$\cos 2\pi d$	$\cos (x/L)$	p	τ	Ratio	Status
-605	1025	9,81	4,74	1,649	0,855	1	91928,94	0,160	0,000002	LIQUEFACTION
-610	1025	9,81	4,74	1,655	0,853	1	92512,72	0,158	0,000002	LIQUEFACTION
-615	1025	9,81	4,74	1,661	0,850	1	93103,48	0,157	0,000002	LIQUEFACTION
-620	1025	9,81	4,74	1,667	0,848	1	93701,34	0,155	0,000002	LIQUEFACTION
-625	1025	9,81	4,74	1,673	0,846	1	94306,39	0,154	0,000002	LIQUEFACTION

Intermediate Sea

Depth	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H (m)	$\cosh 2\pi(z+d)$	$\cos 2\pi d$	$\cos (x/L)$	p	τ	Ratio	Status
-65	1025	9,81	4,74	1,185	0,998	1	56569,88	8,520	0,000151	LIQUEFACTION
-70	1025	9,81	4,74	1,188	0,998	1	56722,67	7,367	0,000130	LIQUEFACTION
-75	1025	9,81	4,74	1,191	0,998	1	56877,86	6,435	0,000113	LIQUEFACTION
-80	1025	9,81	4,74	1,194	0,997	1	57035,45	5,672	0,000099	LIQUEFACTION
-85	1025	9,81	4,74	1,197	0,997	1	57195,45	5,038	0,000088	LIQUEFACTION

Shallow Sea

Depth	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H (m)	$\cosh 2\pi(z+d)$	$\cos 2\pi d$	$\cos (x/L)$	p	τ	Ratio	Status
-11	1025	9,81	4,74	1,155	1,000	1	55068,37	285,002	0,005175	LIQUEFACTION
-16	1025	9,81	4,74	1,158	1,000	1	55196,18	136,196	0,002467	LIQUEFACTION
-21	1025	9,81	4,74	1,161	1,000	1	55326,24	79,507	0,001437	LIQUEFACTION
-26	1025	9,81	4,74	1,163	1,000	1	55458,57	52,074	0,000939	LIQUEFACTION
-31	1025	9,81	4,74	1,166	1,000	1	55593,18	36,751	0,000661	LIQUEFACTION

LAMPIRAN B

Earthquake-Induced Liquefaction

A. Peak Ground Acceleration

$$\log PHGA = (-1,02) + (0,249 M) - \log R - 0,00255R$$

Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)	log PGA	PGA
1918	11	23	Banda Sea	6,9	15	-0,51624	0,305
1927	6	3	Banda Sea	7,5	35	-0,78582	0,164
1944	3	31	Banda Sea	6,4	65	-1,40506	0,039
1950	11	2	Banda Sea	7,7	199,7	-1,91231	0,012
1953	4	6	Kepulauan Tanimbar	6,3	63,3	-1,41412	0,039
1955	7	23	Kepulauan Barat Daya	6,5	35	-1,03482	0,092
1960	10	7	Kepulauan Tanimbar	6,7	35	-0,98502	0,104
1962	5	15	Kepulauan Barat Daya	7,1	30,2	-0,80912	0,155
1963	11	4	Banda Sea	8,1	65	-0,98176	0,104
1963	2	14	Kepulauan Barat Daya	6,6	220	-2,28002	0,005
1964	7	8	Banda Sea	6,9	190	-2,06515	0,009
1964	3	21	Banda Sea	6,8	359,1	-2,79772	0,002
1965	11	21	Banda Sea	6,5	133,3	-1,86625	0,014
1965	8	20	Banda Sea	6,7	330	-2,71171	0,002
1965	5	12	Banda Sea	6,1	153,1	-2,07648	0,008
1965	4	27	Banda Sea	6	30	-1,07962	0,083
1966	2	13	Kepulauan Tanimbar	6	35	-1,15932	0,069
1967	10	12	Kepulauan Babar	6	88,2	-1,69638	0,020
1967	3	19	Banda Sea	6,2	97,7	-1,71523	0,019
1968	9	27	Banda Sea	6	150,6	-2,08785	0,008
1968	1	14	Kepulauan Barat Daya	6	116	-1,88626	0,013
1969	8	8	Banda Sea	6,6	176,2	-2,07192	0,008
1969	4	13	Banda Sea	6,4	167,5	-2,07754	0,008
1969	2	24	Banda Sea	6,2	35	-1,10952	0,078
1971	9	16	Banda Sea	7	131	-1,72832	0,019

Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)	log PGA	PGA
1972	9	24	Kepulauan Tanimbar	6,8	35	-0,96012	0,110
1974	10	29	Banda Sea	6,5	117	-1,76804	0,017
1974	3	6	Banda Sea	6,3	26	-0,93257	0,117
1975	10	17	Kepulauan Barat Daya	6,3	109	-1,76668	0,017
1976	8	21	Banda Sea	6	120	-1,91118	0,012
1980	6	16	Kepulauan Barat Daya	6	167	-2,17457	0,007
1981	10	17	Kepulauan Barat Daya	6,1	179	-2,2104	0,006
1983	11	24	Kepulauan Barat Daya	7,3	178,5	-1,90911	0,012
1983	11	20	Kepulauan Tanimbar	6,1	59,3	-1,42537	0,038
1983	8	6	Banda Sea	6	160	-2,13812	0,007
1984	2	17	Banda Sea	6	158,1	-2,12809	0,007
1985	3	25	Banda Sea	6,2	248,5	-2,5052	0,003
1987	6	17	Banda Sea	7,1	67,3	-1,25173	0,056
1988	5	30	Kepulauan Barat Daya	6,9	86,3	-1,45798	0,035
1988	2	6	Kepulauan Tanimbar	6,2	38,5	-1,15984	0,069
1990	9	23	Banda Sea	6,5	33	-1,00416	0,099
1991	11	7	Kepulauan Barat Daya	6,3	140,2	-1,95556	0,011
1991	10	15	Banda Sea	6,2	136,8	-1,96113	0,011
1992	12	20	Banda Sea	7,3	77,7	-1,29086	0,051
1992	10	18	Banda Sea	6,2	118,9	-1,85458	0,014
1992	5	4	Banda Sea	6,1	86,1	-1,65566	0,022
1993	12	20	Kepulauan Tanimbar	6,3	7,7	-0,35743	0,439
1993	10	5	Banda Sea	6,6	13,1	-0,52728	0,297
1993	1	20	Kepulauan Barat Daya	6,4	33	-1,02906	0,094
1994	8	4	Kepulauan Tanimbar	6,2	33	-1,07886	0,083
1995	12	25	Banda Sea	7,1	141,9	-1,76593	0,017
1995	9	18	Banda Sea	6	180,6	-2,24325	0,006
1997	11	3	Banda Sea	6,1	215,6	-2,38453	0,004
1997	7	31	Banda Sea	6	58,6	-1,44333	0,036
1998	11	9	Banda Sea	7	33	-0,87966	0,132
1998	11	9	Banda Sea	6,7	33	-0,95436	0,111

Year	Month	Day	Area	Magnitude (SR)	Distance (km)	log PGA	PGA
2000	3	3	Kepulauan Barat Daya	6,4	141,9	-1,94023	0,011
2001	11	20	Banda Sea	6,2	33	-1,07886	0,083
2001	5	28	Kepulauan Tanimbar	6	33	-1,12866	0,074
2002	3	19	Banda Sea	6,1	148,1	-2,04931	0,009
2003	3	9	Banda Sea	6	45,9	-1,30486	0,050
2004	6	25	Banda Sea	6,1	70,5	-1,52906	0,030
2005	3	2	Banda Sea	7,1	201,7	-2,07114	0,008
2006	11	14	Banda Sea	6,1	345	-2,91867	0,001
2007	12	15	Kepulauan Tanimbar	6,4	57	-1,32762	0,047
2008	11	7	Banda Sea	6,2	10	-0,5017	0,315
2008	8	4	Banda Sea	6,3	173,9	-2,13504	0,007
2008	6	6	Kepulauan Barat Daya	6	122	-1,92346	0,012
2008	2	13	Timor Sea	6,2	19	-0,8034	0,157
2009	12	26	Banda Sea	6,1	85	-1,64727	0,023
2009	10	24	Banda Sea	6,9	130	-1,74734	0,018
2009	1	22	Kepulauan Barat Daya	6,1	146,7	-2,04162	0,009
2010	12	15	Kepulauan Barat Daya	6	134,9	-2,00001	0,010
2010	2	15	Kepulauan Barat Daya	6,2	126	-1,89787	0,013
2012	12	10	Banda Sea	7,1	155	-1,83768	0,015
2013	12	1	Kepulauan Barat Daya	6,4	9,9	-0,44728	0,357
2013	9	1	Kepulauan Barat Daya	6,5	112	-1,73632	0,018
2013	8	12	189km WNW of Saumlaki	6	95	-1,74597	0,018
2014	12	6	223 NNW of Saumlaki	6	116	-1,88626	0,013
2014	8	6	Kepulauan Barat Daya	6,2	10	-0,5017	0,315
2015	11	21	176km WNW of Saumlaki	6,1	82	-1,62401	0,024
2015	11	21	Kepulauan Babar	6	82	-1,64891	0,022

LAMPIRAN C

A. Analisis stabilitas vertikal dan lateral

- Menghitung berat terapung pada pipa

$$W_{sub} : \frac{W_c + W_s + W_{cc} + W_m + W_{wc} + W_{ic} + W_{fj} - F_{buoy}}{L_{pj}}$$

No	Parameter <i>Pipeline</i>	Hasil perhitungan	Satuan
1	Tebal dinding pipa (t_2)	9,7	mm
2	Diameter total (D_t)	0,542	m
3	Diameter tanpa <i>marine growth</i> (D_{tm})	0,442	m
4	Diameter dalam pipa (D_i)	0,330	m
5	Diameter <i>concrete</i> pipa (D_c)	0,442	m
6	<i>Moment area</i> dari <i>steel</i> pipa (I_{steel})	0,0002	m ⁴
7	<i>Moment area</i> dari <i>concrete</i> (I_{conc})	0,001	m ⁴
8	<i>Internal cross section area</i> (A_i)	0,086	m ²
9	Area dari <i>steel</i> (A_s)	0,014	m ²

No	Parameter	Hasil perhitungan	Satuan
1	Berat <i>internal coating</i>	0	N
2	Berat <i>corrosion coating</i>	361,06	N
3	Berat <i>concrete coating</i>	17330,66	N
4	Berat <i>marine growth</i>	9395,29	N
5	Berat <i>pipeline steel</i>	12748,09	N
6	Berat isi <i>pipeline</i>	8640,07	N

No	Parameter	Hasil perhitungan	Satuan
7	Berat <i>field joint</i>	304,47	N
8	<i>Bouyancy</i> setiap meter	2316,54	N/m
9	<i>Bouyancy</i> setiap joint	304,47	N

No	Parameter	Hasil perhitungan	Satuan
1	Internal Pressure	12,39	MPa
2	External Pressure	6,07	MPa
3	Submerged Weight (Operation)	1714,83	N/m

Maka nilai submerged weight adalah sebesar **1714,83 N/m**.

Stabilitas Vertikal

$$SF_v = \frac{W_s + B}{B} \geq 1.1$$

$$SF_v = \frac{1714 \frac{N}{m} + 2316,54 \frac{N}{m}}{2316,54} \geq 1.1$$

$$SF_v = 1,74$$

Menghitung gaya angkat

Laut dangkal

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2$$

$$F_L = \frac{1}{2} \left(1,025 \frac{kg}{m^3} \right) (0,9) (0,3556 \text{ m}) \left(29,53 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$F_L = 13,62 \frac{N}{m}$$

Laut transisi

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2$$

$$F_L = \frac{1}{2} \left(1,025 \frac{kg}{m^3} \right) (0,9) (0,3556 \text{ m}) \left(300,28 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$F_L = 138,51 \frac{N}{m}$$

Laut dalam

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2$$

$$F_L = \frac{1}{2} \left(1,025 \frac{kg}{m^3} \right) (0,9) (0,3556 \text{ m}) \left(2953 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$F_L = 272,47 \frac{N}{m}$$

Menghitung gaya gesek

Laut dangkal

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2$$

$$F_D = \left(1,025 \frac{kg}{m^3} \right) (0,7) (0,3556 \text{ m}) \left(29,53 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$F_D = 10,6 \text{ N/m}$$

Laut transisi

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2$$

$$F_D = \left(1,025 \frac{kg}{m^3} \right) (0,7) (0,3556 \text{ m}) \left(300,28 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$F_D = 107,73 \text{ N/m}$$

Laut dalam

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2$$

$$F_D = \left(1,025 \frac{kg}{m^3}\right) (0,7) (0,3556 \text{ m}) \left(300,28 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$F_D = 211,92 \text{ N/m}$$

Menghitung gaya inersia

$$F_I = \frac{\pi D^2}{4} \rho C_M$$

$$F_I = \frac{(3,14)(0,3556 \text{ m})^2}{4} \left(1,025 \frac{kg}{m^3}\right) 3,29$$

$$F_I = 334,91 \text{ N/m}$$

Stabilitas Lateral

Laut dangkal

$$SF_l = \frac{(W_s - F_L)\mu}{F_D + F_I} \geq 1.1$$

$$SF_l = \frac{(1714,83 - 13,62) 0,5}{10,6 + 334,91} \geq 1.1$$

$$SF_l = 2,46 \geq 1.1$$

Laut transisi

$$SF_l = \frac{(W_s - F_L)\mu}{F_D + F_I} \geq 1.1$$

$$SF_l = \frac{(1714,83 - 138,51) 0,5}{107,73 + 334,91} \geq 1.1$$

$$SF_l = 1,78 \geq 1.1$$

Laut dalam

$$SF_l = \frac{(W_s - F_L)\mu}{F_D + F_I} \geq 1.1$$

$$SF_l = \frac{(1714,83 - 272,47) 0,5}{211,92 + 334,91} \geq 1.1$$

$$SF_l = 1,32 \geq 1.1$$

B. Perhitungan tegangan internal

Perhitungan *hoop stress*

$$\sigma_{Sh} = \frac{Pd_1L}{2tL} = \frac{Pd_1}{2t} = \frac{Pd_o}{2t}$$

Hoop stress pada kedalaman 6 m

$$\sigma_{Sh} = \frac{(14 - (1,025 \times 9,81 \times 6))}{2 (0,011)}$$

$$\sigma_{Sh} = 225,32 \text{ MPa}$$

Hoop stress pada kedalaman 60 m

$$\sigma_{Sh} = \frac{(14 - (1,025 \times 9,81 \times 60))}{2 (0,011)}$$

$$\sigma_{Sh} = 216,54 \text{ MPa}$$

Hoop stress pada kedalaman 120 m

$$\sigma_{Sh} = \frac{(14 - (1,025 \times 9,81 \times 120))}{2 (0,011)}$$

$$\sigma_{Sh} = 206,79 \text{ MPa}$$

Hoop stress pada kedalaman 600 m

$$\sigma_{Sh} = \frac{(14 - (1,025 \times 9,81 \times 600))}{2 (0,011)}$$

$$\sigma_{Sh} = 128,77 \text{ MPa}$$

Longitudinal Stress

$$\sigma_{lp} = \frac{P A_i}{A_m} = \frac{P d_i^2}{(d_o^2 - d_i^2)} = \frac{P d_i^2}{4td_m} = \frac{Pd_o}{4t}$$

Longitudinal stress pada kedalaman 6 m

$$\sigma_{lp} = \frac{(14 - (1,025 \times 9,81 \times 6))}{4 (0,011)}$$

$$\sigma_{lp} = 112,66 \text{ MPa}$$

Longitudinal stress pada kedalaman 60 m

$$\sigma_{lp} = \frac{(14 - (1,025 \times 9,81 \times 60))}{4 (0,011)}$$

$$\sigma_{lp} = 108,27 \text{ MPa}$$

Longitudinal stress pada kedalaman 120 m

$$\sigma_{lp} = \frac{(14 - (1,025 \times 9,81 \times 120))}{4 (0,011)}$$

$$\sigma_{lp} = 103,39 \text{ MPa}$$

Longitudinal stress pada kedalaman 600 m

$$\sigma_{lp} = \frac{(14 - (1,025 \times 9,81 \times 600))}{4 (0,011)}$$

$$\sigma_{lp} = 64,39 \text{ MPa}$$

Equivalent Stress

Batas maksimum nilai equivalent stress adalah 0,9 SMYS atau 0,9 x dari 450 MPa maka nilai maksimumnya sebesar 405 MPa. Jika combined stress melebihi 405 MPa maka pipa dianggap gagal.

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{sh}^2 + \sigma_{lp}^2 - \sigma_{sh}\sigma_{lp}}$$

Equivalent Stress pada kedalaman 6 m

$$\sigma_e = \sqrt{(225,32)^2 + (112,66)^2 - (225,32)(112,66)}$$

$$\sigma_e = 195,13 \text{ MPa}$$

Equivalent Stress pada kedalaman 60 m

$$\sigma_e = \sqrt{(216,54)^2 + (108,27)^2 - (216,54)(108,27)}$$

$$\sigma_e = 187,53 \text{ MPa}$$

Equivalent Stress pada kedalaman 120 m

$$\sigma_e = \sqrt{(206,79)^2 + (103,39)^2 - (206,79)(103,39)}$$

$$\sigma_e = 179,08 \text{ MPa}$$

Equivalent Stress pada kedalaman 600 m

$$\sigma_e = \sqrt{(128,77)^2 + (64,39)^2 - (128,77)(64,39)}$$

$$\sigma_e = 111,52 \text{ MPa}$$

B. Perhitungan span kritis

$$\left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p(t_2)} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}(p_i)}{\alpha_c \cdot S_p(t_2)} \right\}^2 \right\} + \left(\alpha_p \cdot \frac{p_i - p_e}{\alpha_c \rho_b(t_2)} \right)^2 \leq 1$$

Data pipa sesuai dengan ketentuan untuk menghitung kriteria kegagalan :

Parameter	Value	Unit
Pipeline Diameter	0,3556	m
Steel Grade	API 5L X65	
Density Steel	7850	kg/m ³
Elastic Module	207000	MPa
SMYS	450	MPa
SMTS	535	MPa
Design Pressure	14	MPa
Densitas <i>corrosion coating</i>	900	kg/m ³
Tebal <i>coating</i> korosi	0,003	m
Densitas <i>concrete coating</i>	3044	kg/m ³
Tebal <i>concrete coating</i>	0,04	m
Elastic Module of Concrete	29054,97	MPa

Parameter	Value	Unit
Density of seawater	1025	kg/m ³
Density of internal fluid	850	kg/m ³
Flow Velocity	0,74	m/s
Depth of Water	600	m
Highest temperature of seawater	33,7	C
Lowest temperature of seawater	5,7	C
Effective layer tension	0	kN
Thermal expansion coefficient	0,000011	a/C

- Pressure Containment**

$$p_b(t_2) = \frac{2t_2}{D - t_2} f_{cb} \frac{2}{\sqrt{3}}$$

Diketahui :

$$D = 0,3556 \quad \text{m}$$

$$t = 0,0097 \quad \text{m}$$

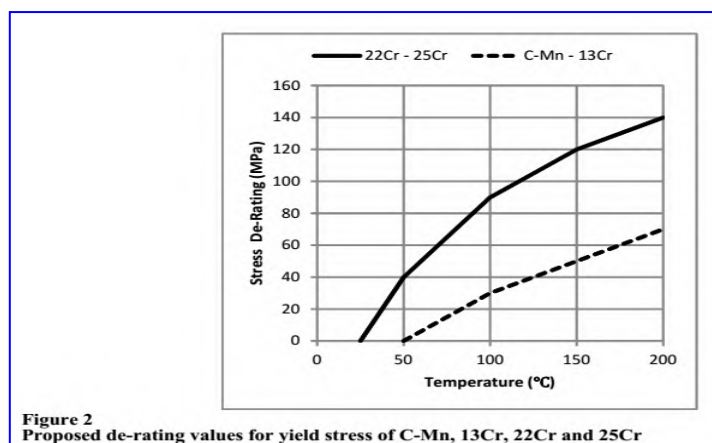
$$f_{cb} = 420 \quad ^\circ\text{C}$$

Maka,

$$p_b(t) = 27,2 \quad \text{MPa}$$

- Characteristic Material Properties**

$$f_{cb} = \min \left[f_y; \frac{fu}{1,15} \right]$$



306 The material strength factor, α_U , depend on Supplementary requirement U as shown in Table 5-4.

Table 5-4 Material Strength factor, α_U		
Factor	Normally	Supplementary requirement U
α_U	0.96	1.00

Note: For system pressure test, α_U shall be equal to 1.00, which gives an allowable hoop stress of 96% of SMYS both for materials fulfilling supplementary requirement U and those not. This is equivalent to the mill test utilisation.

$$T = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Stress Derating} = 30$$

$$f_y = 420 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f_u/1,15 = 439,13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Maka,

$$f_{cb} = 420$$

- Flow Stress Parameter**

$$\alpha_c = (1 - \beta) + \beta \frac{f_u}{f_y}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai α_c yaitu sebesar **1,05**

- Pressure factor used in combined loading criteria**

$$\alpha_p = \begin{cases} 1 - \beta & \frac{p_i - p_e}{p_b} < \frac{2}{3} \\ 1 - 3\beta(1 - \frac{p_i - p_e}{p_b}) & \frac{p_i - p_e}{p_b} \geq \frac{2}{3} \end{cases}$$

Dari hasil perhitungan selisih tekanan internal dan eksternal dibagi dengan *pressure containment* nilainya sebesar 0,23 maka nilai α_p menggunakan rumus $1 - \beta$ sehingga nilai **α_p sebesar 0,74**

- Factor used in combined loading criteria (β)**

$$\beta = \begin{cases} 0.5 & D_s / t_2 < 15 \\ (\frac{60 - D_s / t_2}{90}) & 15 \leq D_s / t_2 \leq 60 \\ 0 & D_s / t_2 > 60 \end{cases}$$

Dari hasil perhitungan diameter total dibagi oleh tebal pipa didapatkan hasil 36,65 maka rumus yang digunakan adalah $\frac{60 - \frac{Ds}{t}}{90}$ nilai β yang didapatkan sebesar **0,259**

- **Denote plastic capacities for pipe**

$$M_p = f_y (D - t_2)^2$$

$$S_p = f_y \pi (D - t_2) t_2$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai **M_p sebesar 487441 N** dan **S_p sebesar 4427121 N**

- **Effective Axial Force**

$$Ssd = H - \Delta p i A_i (1 - 2\nu) - A_s E \Delta T \alpha_e$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan hasil sebesar **-1046944,81 N**

- **Gravity force**

$$F_G = (m_{steel} + m_{cor} + m_{con} + m_{in})g$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai **FG sebesar 39,07 kN**

- **Bouyancy force**

$$F_F = m_{add} g$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai **Ff sebesar 2,3 kN**

- **Cross flow VIV induced stress range**

$$S_{CF} = 2 A_{CF} \left(\frac{A_z}{D} \right) R_k \gamma_s$$

Kondisi	Tipe Tanah	Stress Range
A	Sand	2864,84
	Clay	1740,9
B	Sand	3618,74

	Clay	2284,93
C	Sand	4161,551
	Clay	2720,148

- **Maximum Environmental Stress**

$$\sigma_E = \frac{1}{2} \sigma_{CF}$$

Kondisi	Tipe Tanah	Environmental Stress
A	Sand	1432,42
	Clay	870,45
B	Sand	1809,37
	Clay	1142,465
C	Sand	2080,776
	Clay	1360,074

Kondisi A

Sand

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Inertia Steel	Bending Moment (10⁶ MPa)	Denote Plastic Moment Capacities	Effective Axial Force	Denote Plastic Axial Force Capacities	Internal Pressure	External Pressure	Pressure Containment	Ratio	Check
0,5	2864,84	0,000201	0,01637	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,07	OK
1	2864,84	0,000201	0,06549	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,15	OK
1,5	2864,84	0,000201	0,147	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,39	OK
2	2864,84	0,000201	0,261	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,92	OK
2,5	2864,84	0,000201	0,409	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	1,99	FAIL
3	2864,84	0,000201	0,5894	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	3,83	FAIL
3,5	2864,84	0,000201	0,8023	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	6,84	FAIL

Clay

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Inertia Steel	Bending Moment (10⁶ MPa)	Denote Plastic Moment Capacities	Effective Axial Force	Denote Plastic Axial Force Capacities	Internal Pressure	External Pressure	Pressure Containment	Ratio	Status
0,5	1740,9	0,000201	0,00262	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,20	0,06	OK
1	1740,9	0,000201	0,0104	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,20	0,13	OK
1,5	1740,9	0,000201	0,0235	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,20	0,51	OK
2	1740,9	0,000201	0,0419	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,20	0,88	OK
2,5	1740,9	0,000201	0,0654	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,20	1,29	FAIL
3	1740,9	0,000201	0,194	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,20	1,43	FAIL
3,5	1740,9	0,000201	0,2283	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,20	1,88	FAIL

Kondisi B

Sand

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Inertia Steel	Bending Moment (10⁶ MPa)	Denote Plastic Moment Moment Capacities	Effective Axial Force	Denote Plastic Axial Force Capacities	Internal Pressure	External Pressure	Pressure Containment	Ratio	Status
0,5	3618,74	0,000201	0,0174	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	0,07	OK
1	3618,74	0,000201	0,0698	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	0,15	OK
1,5	3618,74	0,000201	0,1571	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	0,38	OK
2	3618,74	0,000201	0,2794	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	0,92	OK
2,5	3618,74	0,000201	0,4366	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	1,98	FAIL
3	3618,74	0,000201	0,6287	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	3,85	FAIL
3,5	3618,74	0,000201	0,8557	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	6,85	FAIL

Clay

Span Length (m)	Stress Range (MPa)	Inertia Steel	Bending Moment (10⁶ MPa)	Denote Plastic Moment Capacities	Effective Axial Force	Denote Plastic Axial Force Capacities	Internal Pressure	External Pressure	Pressure Containment	Ratio	Status
0,5	2284,93	0,000201	0,0087	0,4874	-1,047	4,4271217	14	6,07	27,20	0,07	OK
1	2284,93	0,000201	0,0349	0,4874	-1,047	4,4271217	14	6,07	27,20	0,10	OK
1,5	2284,93	0,000201	0,0785	0,4874	-1,047	4,4271217	14	6,07	27,20	0,18	OK
2	2284,93	0,000201	0,1397	0,4874	-1,047	4,4271217	14	6,07	27,20	0,35	OK
2,5	2284,93	0,000201	0,2183	0,4874	-1,047	4,4271217	14	6,07	27,20	0,69	OK
3	2284,93	0,000201	0,3143	0,4874	-1,047	4,4271217	14	6,07	27,20	1,25	FAIL
3,5	2284,93	0,000201	0,4278	0,4874	-1,047	4,4271217	14	6,07	27,20	2,15	FAIL

Kondisi C

Sand

Span Length	Stress Range	Inertia Steel	Bending Moment	Denote Plastic Moment Capacities	Effective Axial Force	Denote Plastic Axial Force Capacities	Internal Pressure	External Pressure	Pressure Containment	Ratio	Status
0,5	4161,551	0,000201	0,0436	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	0,07	OK
1	4161,551	0,000201	0,1746	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	0,16	OK
1,5	4161,551	0,000201	0,3929	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	1,86	FAIL
2	4161,551	0,000201	0,6986	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	1,03	FAIL
2,5	4161,551	0,000201	1,091	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	2,23	FAIL
3	4161,551	0,000201	1,571	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	4,34	FAIL
3,5	4161,551	0,000201	2,139	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,070354425	27,2	7,74	FAIL

Clay

Span Length	Stress Range	Inertia Steel	Bending Moment	Denote Plastic Moment Capacities	Effective Axial Force	Denote Plastic Axial Force Capacities	Internal Pressure	External Pressure	Pressure Containment	Ratio	Status
0,5	2720,148	0,000201	0,0262	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,2	0,09	OK
1	2720,148	0,000201	0,1048	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,2	0,24	OK
1,5	2720,148	0,000201	0,2567	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,2	1,08	FAIL
2	2720,148	0,000201	0,4191	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,2	2,09	FAIL
2,5	2720,148	0,000201	0,6549	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,2	4,71	FAIL
3	2720,148	0,000201	0,9431	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,2	9,34	FAIL
3,5	2720,148	0,000201	1,283	0,4874	-1,0469	4,4271	14	6,07	27,2	16,85	FAIL

LAMPIRAN D

SIMULASI MONTECARLO

Kondisi	Tipe Tanah	L			Parameter	Normal Distribution		
						Mean	SD	CoV
A	Sand	0	-	1	Span Length	0,4640	0,2621	0,5649
					Msd	0,0193	0,0182	0,9413
	Clay	0	-	1	Span Length	0,5317	0,2828	0,5319
					Msd	0,0123	0,0104	0,8451
	Sand	1	-	2	Span Length	1,5375	0,2733	0,1778
					Msd	0,1661	0,0568	0,3418
	Clay	1	-	2	Span Length	1,5369	0,2853	0,1856
					Msd	0,0832	0,0299	0,3588
	Sand	2	-	3	Span Length	2,5406	0,2919	0,1149
					Msd	0,4454	0,1003	0,2252
	Clay	2	-	3	Span Length	2,4431	0,2776	0,1136
					Msd	0,2059	0,0468	0,2271
	Sand	3	-	4	Span Length	3,5079	0,2955	0,0842
					Msd	0,8441	0,1414	0,1675
	Clay	3	-	4	Span Length	3,5164	0,2732	0,0777
					Msd	0,4236	0,0652	0,1539
B	Sand	0	-	1	Span Length	0,4711	0,2797	0,5938
					Msd	0,0255	0,0243	0,9528
	Clay	0	-	1	Span Length	0,4960	0,2874	0,5795
					Msd	0,0128	0,0118	0,9274
	Sand	1	-	2	Span Length	1,4939	0,3026	0,2026
					Msd	0,1977	0,0771	0,3901
	Clay	1	-	2	Span Length	1,4752	0,2784	0,1887
					Msd	0,0877	0,0324	0,3694
	Sand	2	-	3	Span Length	2,4925	0,2929	0,1175
					Msd	0,5362	0,1254	0,2339
	Clay	2	-	3	Span Length	2,4956	0,2657	0,1065
					Msd	0,2451	0,0519	0,2117
	Sand	3	-	4	Span Length	3,4680	0,2719	0,0784

Kondisi	Tipe Tanah	L			Parameter	Normal Distribution		
						Mean	SD	CoV
	Clay	3	-	4	Msd	1,0302	0,1605	0,1558
					Span Length	3,5625	0,2848	0,0799
					Msd	0,4971	0,0783	0,1574
C	Sand	0	-	1	Span Length	0,5022	0,3108	0,6188
					Msd	0,0365	0,0322	0,8841
	Clay	0	-	1	Span Length	0,4653	0,2662	0,5721
					Msd	0,0130	0,0125	0,9576
	Sand	1	-	2	Span Length	1,5119	0,2874	0,1901
					Msd	0,2481	0,0908	0,3661
	Clay	1	-	2	Span Length	1,4668	0,3028	0,2064
					Msd	0,1018	0,0412	0,4049
	Sand	2	-	3	Span Length	2,4924	0,2600	0,1043
					Msd	0,6580	0,1365	0,2074
	Clay	2	-	3	Span Length	2,4608	0,2842	0,1155
					Msd	0,2786	0,0646	0,2320
	Sand	3	-	4	Span Length	3,5024	0,3006	0,0858
					Msd	1,2948	0,2206	0,1703
	Clay	3	-	4	Span Length	3,5482	0,2800	0,0789
					Msd	0,5752	0,0901	0,1567

Kondisi A

Sand

Length of Span : 0 – 1 m

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	0,55	2864,84	0,000201	0,0206	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,08	OK
2	0,72	2864,84	0,000201	0,0353	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,10	OK
3	0,61	2864,84	0,000201	0,0253	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,08	OK
4	0,52	2864,84	0,000201	0,0184	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,08	OK
5	0,65	2864,84	0,000201	0,0288	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,09	OK
6	0,60	2864,84	0,000201	0,0245	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,08	OK
7	0,38	2864,84	0,000201	0,0098	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,07	OK
8	0,58	2864,84	0,000201	0,0229	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,08	OK
9	0,70	2864,84	0,000201	0,0334	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,10	OK
10	0,70	2864,84	0,000201	0,0334	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,10	OK
11	0,62	2864,84	0,000201	0,0262	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,09	OK
12	0,69	2864,84	0,000201	0,0324	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,09	OK
13	0,01	2864,84	0,000201	0,0000	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,06	OK
14	0,20	2864,84	0,000201	0,0027	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,06	OK
15	0,49	2864,84	0,000201	0,0164	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,07	OK
16	0,07	2864,84	0,000201	0,0003	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,06	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
17	0,01	2864,84	0,000201	0,0000	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,06	OK
18	0,51	2864,84	0,000201	0,0177	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,08	OK
19	0,54	2864,84	0,000201	0,0199	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,08	OK
20	0,15	2864,84	0,000201	0,0015	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,2	0,06	OK
78	0,71	2864,84	0,000201	0,03434	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,10	OK
79	0,85	2864,84	0,000201	0,049216	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,12	OK
80	0,21	2864,84	0,000201	0,003007	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,06	OK
81	0,61	2864,84	0,000201	0,025349	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,08	OK
82	0,68	2864,84	0,000201	0,031499	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,09	OK
83	0,03	2864,84	0,000201	6,46E-05	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,06	OK
84	0,35	2864,84	0,000201	0,008347	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,07	OK
85	0,83	2864,84	0,000201	0,046927	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,12	OK
86	0,30	2864,84	0,000201	0,006134	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,06	OK
87	0,57	2864,84	0,000201	0,022134	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,08	OK
88	0,17	2864,84	0,000201	0,001972	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,06	OK
89	0,47	2864,84	0,000201	0,01505	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,07	OK
90	0,16	2864,84	0,000201	0,001747	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,06	OK
91	0,24	2864,84	0,000201	0,003927	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,06	OK
92	0,53	2864,84	0,000201	0,019137	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,08	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
93	0,02	2864,84	0,000201	3,06E-05	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,06	OK
94	0,91	2864,84	0,000201	0,056408	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,13	OK
95	0,55	2864,84	0,000201	0,020608	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,08	OK
96	0,73	2864,84	0,000201	0,036301	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,10	OK
97	0,81	2864,84	0,000201	0,044693	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,11	OK
98	0,36	2864,84	0,000201	0,008831	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,07	OK
99	0,05	2864,84	0,000201	0,000174	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,06	OK
100	0,70	2864,84	0,000201	0,033379	0,487	-1,047	4,4	14	6,07	27,20	0,10	OK

Kondisi A

Clay

Length of Span : **0 – 1 m**

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	0,47	1740,9	0,000201	0,007524	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
2	0,09	1740,9	0,000201	0,000277	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
3	0,37	1740,9	0,000201	0,004663	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
4	0,70	1740,9	0,000201	0,016689	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
5	0,75	1740,9	0,000201	0,019158	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,08	OK
6	0,96	1740,9	0,000201	0,031388	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,09	OK
7	0,32	1740,9	0,000201	0,003488	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
8	0,76	1740,9	0,000201	0,019672	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,08	OK
9	0,10	1740,9	0,000201	0,000342	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
10	0,87	1740,9	0,000201	0,025779	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,08	OK
11	0,42	1740,9	0,000201	0,006009	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
12	0,99	1740,9	0,000201	0,03338	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,10	OK
13	0,04	1740,9	0,000201	5,55E-05	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
14	0,16	1740,9	0,000201	0,000873	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
15	0,69	1740,9	0,000201	0,016216	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
16	0,05	1740,9	0,000201	8,62E-05	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
17	0,68	1740,9	0,000201	0,015749	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
18	0,36	1740,9	0,000201	0,004415	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
19	0,16	1740,9	0,000201	0,000873	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
20	0,53	1740,9	0,000201	0,009568	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
78	0,62	1740,9	0,000201	0,013093	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
79	0,48	1740,9	0,000201	0,007848	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
80	0,98	1740,9	0,000201	0,032709	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,09	OK
81	0,24	1740,9	0,000201	0,001963	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
82	0,68	1740,9	0,000201	0,015749	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
83	0,48	1740,9	0,000201	0,007848	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
84	0,23	1740,9	0,000201	0,001803	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
85	0,37	1740,9	0,000201	0,004663	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
86	0,83	1740,9	0,000201	0,023463	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,08	OK
87	0,66	1740,9	0,000201	0,014836	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
88	0,80	1740,9	0,000201	0,021797	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,08	OK
89	0,23	1740,9	0,000201	0,001803	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
90	0,03	1740,9	0,000201	3,17E-05	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
91	0,48	1740,9	0,000201	0,007848	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	0,49	1740,9	0,000201	0,008178	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
93	0,62	1740,9	0,000201	0,013093	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
94	0,09	1740,9	0,000201	0,000277	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
95	0,61	1740,9	0,000201	0,012674	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
96	0,70	1740,9	0,000201	0,016689	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
97	0,23	1740,9	0,000201	0,001803	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
98	0,64	1740,9	0,000201	0,013951	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,07	OK
99	0,41	1740,9	0,000201	0,005726	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK
100	0,45	1740,9	0,000201	0,006898	0,487	-1,05	4,43	14	6,07	27,20	0,06	OK

Kondisi A

Sand

Length of Span : **1 - 2 m**

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	1,04	2864,84	0,000201	0,0737	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,17	OK
2	1,06	2864,84	0,000201	0,0765	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,17	OK
3	1,85	2864,84	0,000201	0,2331	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,76	OK
4	1,38	2864,84	0,000201	0,1297	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,32	OK
5	1,68	2864,84	0,000201	0,1922	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,56	OK
6	1,97	2864,84	0,000201	0,2643	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,94	OK
7	1,87	2864,84	0,000201	0,2382	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,79	OK
8	1,52	2864,84	0,000201	0,1574	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,42	OK
9	1,99	2864,84	0,000201	0,2697	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,97	OK
10	1,53	2864,84	0,000201	0,1595	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,43	OK
11	1,93	2864,84	0,000201	0,2537	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,88	OK
12	1,77	2864,84	0,000201	0,2134	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,66	OK
13	1,38	2864,84	0,000201	0,1297	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,32	OK
14	1,98	2864,84	0,000201	0,2670	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,95	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	1,06	2864,84	0,000201	0,0765	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,17	OK
16	1,96	2864,84	0,000201	0,2617	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,92	OK
17	1,70	2864,84	0,000201	0,1969	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,58	OK
18	1,82	2864,84	0,000201	0,2256	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,72	OK
19	1,11	2864,84	0,000201	0,0839	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,19	OK
78	1,28	2864,84	0,000201	0,111601	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,27	OK
79	1,53	2864,84	0,000201	0,159451	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,43	OK
80	1,36	2864,84	0,000201	0,125987	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,31	OK
81	1,90	2864,84	0,000201	0,245895	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,83	OK
82	1,17	2864,84	0,000201	0,093245	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,22	OK
83	1,42	2864,84	0,000201	0,137348	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,35	OK
84	1,09	2864,84	0,000201	0,08093	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,18	OK
85	1,78	2864,84	0,000201	0,215816	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,67	OK
86	1,66	2864,84	0,000201	0,187698	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,54	OK
87	1,65	2864,84	0,000201	0,185444	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,53	OK
88	1,58	2864,84	0,000201	0,170043	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,47	OK
89	1,83	2864,84	0,000201	0,22811	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,74	OK
90	1,02	2864,84	0,000201	0,070869	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,16	OK
91	1,56	2864,84	0,000201	0,165765	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,45	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	1,72	2864,84	0,000201	0,201512	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,61	OK
93	1,80	2864,84	0,000201	0,220693	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,70	OK
94	1,37	2864,84	0,000201	0,127846	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,32	OK
95	1,77	2864,84	0,000201	0,213398	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,66	OK
96	1,13	2864,84	0,000201	0,086978	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,20	OK
97	1,80	2864,84	0,000201	0,220693	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,70	OK
98	1,71	2864,84	0,000201	0,199175	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,60	OK
99	1,44	2864,84	0,000201	0,141244	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,36	OK
100	1,98	2864,84	0,000201	0,267037	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,95	OK

Kondisi A

Clay

Length of Span : **1 - 2 m**

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	1,30	1740,9	0,000201	0,057557	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,14	OK
2	1,84	1740,9	0,000201	0,115304	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,28	OK
3	1,49	1740,9	0,000201	0,075611	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,17	OK
4	1,67	1740,9	0,000201	0,094983	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,22	OK
5	1,50	1740,9	0,000201	0,076629	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,17	OK
6	1,68	1740,9	0,000201	0,096123	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,22	OK
7	1,80	1740,9	0,000201	0,110346	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,26	OK
8	1,60	1740,9	0,000201	0,087187	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,20	OK
9	1,67	1740,9	0,000201	0,094983	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,22	OK
10	1,01	1740,9	0,000201	0,034743	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
11	1,04	1740,9	0,000201	0,036837	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
12	1,13	1740,9	0,000201	0,043488	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,11	OK
13	1,91	1740,9	0,000201	0,124244	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
14	1,75	1740,9	0,000201	0,104301	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,24	OK
15	1,43	1740,9	0,000201	0,069644	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,16	OK
16	1,71	1740,9	0,000201	0,099587	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,23	OK
17	1,48	1740,9	0,000201	0,074599	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,17	OK
18	1,02	1740,9	0,000201	0,035434	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
19	1,89	1740,9	0,000201	0,121656	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK
20	1,87	1740,9	0,000201	0,119095	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,29	OK
81	1,10	1740,9	0,000201	0,04121	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,11	OK
82	1,04	1740,9	0,000201	0,036837	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
83	1,17	1740,9	0,000201	0,046622	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK
84	1,82	1740,9	0,000201	0,112811	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,27	OK
85	1,16	1740,9	0,000201	0,045828	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,11	OK
86	1,78	1740,9	0,000201	0,107907	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,25	OK
87	1,52	1740,9	0,000201	0,078686	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,18	OK
88	1,44	1740,9	0,000201	0,070622	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,16	OK
89	1,86	1740,9	0,000201	0,117825	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,28	OK
90	1,07	1740,9	0,000201	0,038993	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
91	1,80	1740,9	0,000201	0,110346	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,26	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	1,47	1740,9	0,000201	0,073595	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,17	OK
93	1,64	1740,9	0,000201	0,091601	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,21	OK
94	1,87	1740,9	0,000201	0,119095	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,29	OK
95	1,58	1740,9	0,000201	0,085021	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,19	OK
96	1,78	1740,9	0,000201	0,107907	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,25	OK
97	1,60	1740,9	0,000201	0,087187	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,20	OK
98	1,99	1740,9	0,000201	0,13487	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,34	OK
99	1,23	1740,9	0,000201	0,051526	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK
100	1,88	1740,9	0,000201	0,120372	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,29	OK

Kondisi A

Sand

Length of Span : **2 - 3 m**

OK	0
FAIL	100

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	2,79	2864,84	0,000201	0,530209	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,17	FAIL
2	2,43	2864,84	0,000201	0,402209	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,93	FAIL
3	2,49	2864,84	0,000201	0,422317	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,10	FAIL
4	2,02	2864,84	0,000201	0,277936	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,02	FAIL
5	2,84	2864,84	0,000201	0,549383	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,38	FAIL
6	2,65	2864,84	0,000201	0,478334	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,63	FAIL
7	2,43	2864,84	0,000201	0,402209	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,93	FAIL
8	2,62	2864,84	0,000201	0,467565	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,52	FAIL
9	2,07	2864,84	0,000201	0,291865	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,10	FAIL
10	2,10	2864,84	0,000201	0,300386	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,16	FAIL
11	2,57	2864,84	0,000201	0,449889	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,35	FAIL
12	2,21	2864,84	0,000201	0,332679	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,38	FAIL
13	2,26	2864,84	0,000201	0,347902	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,49	FAIL
14	2,43	2864,84	0,000201	0,402209	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,93	FAIL
15	2,96	2864,84	0,000201	0,596791	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,94	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
16	2,03	2864,84	0,000201	0,280694	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,03	FAIL
17	2,48	2864,84	0,000201	0,418931	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,07	FAIL
18	2,76	2864,84	0,000201	0,518868	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,05	FAIL
19	2,41	2864,84	0,000201	0,395616	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,87	FAIL
20	2,03	2864,84	0,000201	0,280694	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,03	FAIL
80	2,89	2864,84	0,000201	0,568898	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,61	FAIL
81	2,42	2864,84	0,000201	0,398906	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,90	FAIL
82	2,24	2864,84	0,000201	0,341772	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,45	FAIL
83	2,41	2864,84	0,000201	0,395616	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,87	FAIL
84	2,85	2864,84	0,000201	0,553259	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,43	FAIL
85	2,69	2864,84	0,000201	0,492883	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,78	FAIL
86	2,04	2864,84	0,000201	0,283466	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,05	FAIL
87	2,69	2864,84	0,000201	0,492883	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,78	FAIL
88	2,32	2864,84	0,000201	0,36662	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,64	FAIL
89	2,33	2864,84	0,000201	0,369787	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,66	FAIL
90	2,82	2864,84	0,000201	0,541673	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,30	FAIL
91	2,33	2864,84	0,000201	0,369787	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,66	FAIL
92	2,95	2864,84	0,000201	0,592765	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,89	FAIL
93	2,77	2864,84	0,000201	0,522635	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,09	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
94	2,66	2864,84	0,000201	0,48195	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,66	FAIL
95	2,86	2864,84	0,000201	0,557148	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,47	FAIL
96	2,68	2864,84	0,000201	0,489225	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,74	FAIL
97	2,37	2864,84	0,000201	0,382593	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,76	FAIL
98	2,27	2864,84	0,000201	0,350988	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,52	FAIL
99	2,05	2864,84	0,000201	0,286252	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,07	FAIL
100	2,43	2864,84	0,000201	0,402209	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,93	FAIL

Kondisi A

Clay

Length of Span : **2 - 3 m**

OK	78
FAIL	22

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	2,09	1740,9	0,000201	0,148765	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,39	OK
2	2,32	1740,9	0,000201	0,183309	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,52	OK
3	2,01	1740,9	0,000201	0,137595	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,35	OK
4	2,01	1740,9	0,000201	0,137595	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,35	OK
5	2,94	1740,9	0,000201	0,294376	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,12	FAIL
6	2,13	1740,9	0,000201	0,154514	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,41	OK
7	2,77	1740,9	0,000201	0,261317	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,92	OK
8	2,12	1740,9	0,000201	0,153067	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,40	OK
9	2,74	1740,9	0,000201	0,255687	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,89	OK
10	2,70	1740,9	0,000201	0,248276	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,84	OK
11	2,43	1740,9	0,000201	0,201104	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,60	OK
12	2,49	1740,9	0,000201	0,211158	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,65	OK
13	2,65	1740,9	0,000201	0,239166	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,79	OK
14	2,03	1740,9	0,000201	0,140346	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,36	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	2,73	1740,9	0,000201	0,253824	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,88	OK
16	2,78	1740,9	0,000201	0,263207	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,93	OK
17	2,87	1740,9	0,000201	0,280525	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,03	FAIL
18	2,32	1740,9	0,000201	0,183309	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,52	OK
19	2,46	1740,9	0,000201	0,2061	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,63	OK
20	2,21	1740,9	0,000201	0,166339	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,45	OK
80	2,56	1740,9	0,000201	0,223197	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,71	OK
81	2,05	1740,9	0,000201	0,143125	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,37	OK
82	2,23	1740,9	0,000201	0,169363	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,47	OK
83	2,75	1740,9	0,000201	0,257557	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,90	OK
84	2,83	1740,9	0,000201	0,27276	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,99	OK
85	2,21	1740,9	0,000201	0,166339	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,45	OK
86	2,48	1740,9	0,000201	0,209465	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,64	OK
87	2,16	1740,9	0,000201	0,158897	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,43	OK
88	2,22	1740,9	0,000201	0,167847	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,46	OK
89	2,65	1740,9	0,000201	0,239166	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,79	OK
90	2,09	1740,9	0,000201	0,148765	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,39	OK
91	2,84	1740,9	0,000201	0,274691	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,00	OK
92	2,59	1740,9	0,000201	0,228459	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,74	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
93	2,64	1740,9	0,000201	0,237365	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,79	OK
94	3,00	1740,9	0,000201	0,306514	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,20	FAIL
95	2,54	1740,9	0,000201	0,219723	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,69	OK
96	2,15	1740,9	0,000201	0,157429	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,42	OK
97	2,02	1740,9	0,000201	0,138967	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,35	OK
98	2,95	1740,9	0,000201	0,296382	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,13	FAIL
99	2,24	1740,9	0,000201	0,170885	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,47	OK
100	2,86	1740,9	0,000201	0,278573	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,02	FAIL

Kondisi A

Sand

Length of Span : **3 -4 m**

OK	0
FAIL	100

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	3,89	2864,84	0,000201	1,03071	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	11,05	FAIL
2	3,86	2864,84	0,000201	1,014874	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,73	FAIL
3	3,69	2864,84	0,000201	0,92745	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	9,03	FAIL
4	3,49	2864,84	0,000201	0,829638	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	7,31	FAIL
5	3,84	2864,84	0,000201	1,004384	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,52	FAIL
6	3,63	2864,84	0,000201	0,897534	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,49	FAIL
7	3,86	2864,84	0,000201	1,014874	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,73	FAIL
8	3,19	2864,84	0,000201	0,693138	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,21	FAIL
9	3,38	2864,84	0,000201	0,778164	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,48	FAIL
10	3,37	2864,84	0,000201	0,773567	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,40	FAIL
11	3,01	2864,84	0,000201	0,617123	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,20	FAIL
12	3,60	2864,84	0,000201	0,88276	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,22	FAIL
13	3,98	2864,84	0,000201	1,078956	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,07	FAIL
14	3,79	2864,84	0,000201	0,978399	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,01	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	3,03	2864,84	0,000201	0,625351	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,30	FAIL
16	3,59	2864,84	0,000201	0,877863	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,14	FAIL
17	3,13	2864,84	0,000201	0,667309	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,85	FAIL
18	3,23	2864,84	0,000201	0,710629	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,46	FAIL
19	3,06	2864,84	0,000201	0,637795	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,46	FAIL
20	3,67	2864,84	0,000201	0,917423	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,85	FAIL
81	3,02	2864,84	0,000201	0,62123	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,25	FAIL
82	3,03	2864,84	0,000201	0,625351	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,30	FAIL
83	3,05	2864,84	0,000201	0,633633	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,41	FAIL
84	3,26	2864,84	0,000201	0,723891	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,65	FAIL
85	3,18	2864,84	0,000201	0,688799	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,15	FAIL
86	3,44	2864,84	0,000201	0,806037	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,92	FAIL
87	3,55	2864,84	0,000201	0,858409	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	7,80	FAIL
88	3,16	2864,84	0,000201	0,680162	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,03	FAIL
89	3,67	2864,84	0,000201	0,917423	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,85	FAIL
90	3,88	2864,84	0,000201	1,025418	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,95	FAIL
91	3,23	2864,84	0,000201	0,710629	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,46	FAIL
92	3,26	2864,84	0,000201	0,723891	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,65	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
93	4,00	2864,84	0,000201	1,089827	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,30	FAIL
94	3,88	2864,84	0,000201	1,025418	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,95	FAIL
95	3,38	2864,84	0,000201	0,778164	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,48	FAIL
96	3,73	2864,84	0,000201	0,947666	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	9,41	FAIL
97	3,13	2864,84	0,000201	0,667309	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,85	FAIL
98	3,30	2864,84	0,000201	0,741764	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,92	FAIL
99	3,46	2864,84	0,000201	0,815436	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	7,07	FAIL
100	3,20	2864,84	0,000201	0,69749	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,27	FAIL

Kondisi A

Clay

Length of Span : **3 -4 m**

OK	0
FAIL	100

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	3,92	1740,9	0,000201	0,523334	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,10	FAIL
2	3,81	1740,9	0,000201	0,494375	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,79	FAIL
3	3,82	1740,9	0,000201	0,496974	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,82	FAIL
4	3,51	1740,9	0,000201	0,419586	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,08	FAIL
5	3,79	1740,9	0,000201	0,489199	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,74	FAIL
6	3,05	1740,9	0,000201	0,316816	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,27	FAIL
7	3,75	1740,9	0,000201	0,478927	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,63	FAIL
8	3,27	1740,9	0,000201	0,364169	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,62	FAIL
9	3,96	1740,9	0,000201	0,534069	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,21	FAIL
10	3,07	1740,9	0,000201	0,320985	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,30	FAIL
11	3,52	1740,9	0,000201	0,421981	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,10	FAIL
12	3,60	1740,9	0,000201	0,441379	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,27	FAIL
13	3,52	1740,9	0,000201	0,421981	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,10	FAIL
14	3,32	1740,9	0,000201	0,375391	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,70	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	3,06	1740,9	0,000201	0,318897	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,28	FAIL
16	3,80	1740,9	0,000201	0,491784	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,76	FAIL
17	3,30	1740,9	0,000201	0,370881	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,67	FAIL
18	3,96	1740,9	0,000201	0,534069	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,21	FAIL
19	3,34	1740,9	0,000201	0,379927	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,74	FAIL
20	3,87	1740,9	0,000201	0,510069	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,95	FAIL
81	3,60	1740,9	0,000201	0,441379	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,27	FAIL
82	3,35	1740,9	0,000201	0,382205	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,76	FAIL
83	3,23	1740,9	0,000201	0,355314	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,55	FAIL
84	3,33	1740,9	0,000201	0,377655	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,72	FAIL
85	3,47	1740,9	0,000201	0,410078	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,99	FAIL
86	3,24	1740,9	0,000201	0,357518	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,57	FAIL
87	3,54	1740,9	0,000201	0,426789	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,14	FAIL
88	3,48	1740,9	0,000201	0,412445	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,01	FAIL
89	3,75	1740,9	0,000201	0,478927	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,63	FAIL
90	3,88	1740,9	0,000201	0,512708	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,98	FAIL
91	3,90	1740,9	0,000201	0,518008	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,04	FAIL
92	3,74	1740,9	0,000201	0,476376	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,61	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
93	3,55	1740,9	0,000201	0,429204	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,16	FAIL
94	3,30	1740,9	0,000201	0,370881	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,67	FAIL
95	3,21	1740,9	0,000201	0,350927	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,52	FAIL
96	3,29	1740,9	0,000201	0,368637	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,65	FAIL
97	3,53	1740,9	0,000201	0,424382	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,12	FAIL
98	3,50	1740,9	0,000201	0,417199	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,06	FAIL
99	3,69	1740,9	0,000201	0,463724	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,48	FAIL
100	3,18	1740,9	0,000201	0,344399	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,47	FAIL

Kondisi B

Sand

Length of Span : **0 -1 m**

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	0,10	3618,74	0,000201	0,0009	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
2	0,63	3618,74	0,000201	0,0338	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,10	OK
3	0,84	3618,74	0,000201	0,0601	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,14	OK
4	0,29	3618,74	0,000201	0,0072	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
5	0,26	3618,74	0,000201	0,0058	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
6	0,69	3618,74	0,000201	0,0405	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,11	OK
7	0,52	3618,74	0,000201	0,0230	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,08	OK
8	0,03	3618,74	0,000201	0,0001	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
9	0,89	3618,74	0,000201	0,0674	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,15	OK
10	0,04	3618,74	0,000201	0,0001	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
11	0,89	3618,74	0,000201	0,0674	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,15	OK
12	1,00	3618,74	0,000201	0,0851	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,19	OK
13	0,14	3618,74	0,000201	0,0017	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
14	0,20	3618,74	0,000201	0,0034	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK

No	L	σ_{CF}	I _s	M _{sd}	M _p	S _{sd}	S _p	P _i	P _e	P _b	Ratio	Status
15	0,96	3618,74	0,000201	0,0785	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,18	OK
16	0,65	3618,74	0,000201	0,0360	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,10	OK
17	0,49	3618,74	0,000201	0,0204	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,08	OK
18	0,12	3618,74	0,000201	0,0012	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
19	0,44	3618,74	0,000201	0,0165	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,07	OK
20	0,31	3618,74	0,000201	0,0082	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,07	OK
80	0,76	3618,74	0,000201	0,0492	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,12	OK
81	0,23	3618,74	0,000201	0,0045	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
82	0,04	3618,74	0,000201	0,0001	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
83	0,36	3618,74	0,000201	0,0110	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,07	OK
84	0,54	3618,74	0,000201	0,0248	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,08	OK
85	0,06	3618,74	0,000201	0,0003	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
86	0,74	3618,74	0,000201	0,0466	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,12	OK
87	0,02	3618,74	0,000201	0,0000	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
88	0,12	3618,74	0,000201	0,0012	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
89	0,75	3618,74	0,000201	0,0479	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,12	OK
90	0,43	3618,74	0,000201	0,0157	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,07	OK
91	0,05	3618,74	0,000201	0,0002	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	0,87	3618,74	0,000201	0,0644	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,15	OK
93	0,21	3618,74	0,000201	0,0038	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
94	0,01	3618,74	0,000201	0,0000	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
95	0,81	3618,74	0,000201	0,0559	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,13	OK
96	0,63	3618,74	0,000201	0,0338	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,10	OK
97	0,14	3618,74	0,000201	0,0017	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
98	0,01	3618,74	0,000201	0,0000	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,06	OK
99	0,84	3618,74	0,000201	0,0601	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,14	OK
100	0,39	3618,74	0,000201	0,0130	0,487	-1,047	4,427	14	6,07	27,20	0,07	OK

Kondisi B

Clay

Length of Span : **0 -1 m**

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	0,86	2284,93	0,000201	0,028788422	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
2	0,96	2284,93	0,000201	0,035872273	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
3	0,31	2284,93	0,000201	0,003741949	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
4	0,99	2284,93	0,000201	0,038149225	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
5	0,44	2284,93	0,000201	0,007536869	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
6	0,75	2284,93	0,000201	0,02189529	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
7	0,35	2284,93	0,000201	0,004769497	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
8	0,89	2284,93	0,000201	0,03083184	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
9	0,56	2284,93	0,000201	0,01220754	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
10	0,04	2284,93	0,000201	6,37957E-05	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
11	0,20	2284,93	0,000201	0,00155841	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
12	0,12	2284,93	0,000201	0,000562001	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
13	0,39	2284,93	0,000201	0,005921595	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
14	0,81	2284,93	0,000201	0,025538413	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	0,83	2284,93	0,000201	0,026815063	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
16	0,79	2284,93	0,000201	0,024292901	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
17	0,80	2284,93	0,000201	0,024911765	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
18	0,76	2284,93	0,000201	0,022483016	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
19	0,29	2284,93	0,000201	0,003274882	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
20	0,99	2284,93	0,000201	0,038149225	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
80	0,29	2284,93	0,000201	0,003274882	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
81	0,19	2284,93	0,000201	0,001406614	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
82	0,03	2284,93	0,000201	3,65501E-05	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
83	0,84	2284,93	0,000201	0,027465065	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
84	0,44	2284,93	0,000201	0,007536869	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
85	0,94	2284,93	0,000201	0,034393227	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
86	0,51	2284,93	0,000201	0,010125199	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
87	0,07	2284,93	0,000201	0,000192239	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
88	0,12	2284,93	0,000201	0,000562001	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
89	0,14	2284,93	0,000201	0,000764396	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
90	0,95	2284,93	0,000201	0,035128858	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
91	0,23	2284,93	0,000201	0,002060508	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	0,96	2284,93	0,000201	0,035872273	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
93	0,75	2284,93	0,000201	0,02189529	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
94	0,74	2284,93	0,000201	0,021315348	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
95	0,37	2284,93	0,000201	0,005329977	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
96	0,02	2284,93	0,000201	1,7089E-05	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
97	0,74	2284,93	0,000201	0,021315348	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
98	0,01	2284,93	0,000201	5,41234E-06	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
99	0,06	2284,93	0,000201	0,00014164	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
100	0,34	2284,93	0,000201	0,004500933	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK

Kondisi B

Sand

Length of Span : **1-2 m**

OK	77
FAIL	23

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	1,03	3618,74	0,000201	0,090333	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,21	OK
2	1,07	3618,74	0,000201	0,097485	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,23	OK
3	1,92	3618,74	0,000201	0,313874	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,25	FAIL
4	1,78	3618,74	0,000201	0,269771	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,97	OK
5	1,63	3618,74	0,000201	0,22622	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,73	OK
6	1,86	3618,74	0,000201	0,294564	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,12	FAIL
7	1,11	3618,74	0,000201	0,104909	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,25	OK
8	1,25	3618,74	0,000201	0,13304	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,33	OK
9	1,33	3618,74	0,000201	0,150614	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,39	OK
10	1,91	3618,74	0,000201	0,310613	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,23	FAIL
11	1,45	3618,74	0,000201	0,179017	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,51	OK
12	1,02	3618,74	0,000201	0,088587	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,20	OK
13	1,06	3618,74	0,000201	0,095671	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,22	OK
14	1,65	3618,74	0,000201	0,231806	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,76	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	1,72	3618,74	0,000201	0,251891	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,86	OK
16	1,92	3618,74	0,000201	0,313874	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,25	FAIL
17	1,30	3618,74	0,000201	0,143896	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,37	OK
18	1,35	3618,74	0,000201	0,155177	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,41	OK
19	1,03	3618,74	0,000201	0,090333	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,21	OK
20	1,54	3618,74	0,000201	0,201929	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,61	OK
80	1,87	3618,74	0,000201	0,29774	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,14	FAIL
81	2,00	3618,74	0,000201	0,340575	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,44	FAIL
82	1,77	3618,74	0,000201	0,266748	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,95	OK
83	1,67	3618,74	0,000201	0,237459	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,79	OK
84	1,81	3618,74	0,000201	0,27894	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,02	FAIL
85	1,58	3618,74	0,000201	0,212555	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,66	OK
86	1,07	3618,74	0,000201	0,097485	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,23	OK
87	1,98	3618,74	0,000201	0,333798	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,39	FAIL
88	1,01	3618,74	0,000201	0,086859	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,20	OK
89	1,58	3618,74	0,000201	0,212555	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,66	OK
90	1,04	3618,74	0,000201	0,092095	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,21	OK
91	1,48	3618,74	0,000201	0,186501	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,54	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	1,97	3618,74	0,000201	0,330435	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,37	FAIL
93	1,90	3618,74	0,000201	0,307369	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,21	FAIL
94	1,97	3618,74	0,000201	0,330435	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,37	FAIL
95	1,29	3618,74	0,000201	0,141691	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,36	OK
96	1,69	3618,74	0,000201	0,243181	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,82	OK
97	1,44	3618,74	0,000201	0,176557	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,50	OK
98	1,97	3618,74	0,000201	0,330435	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,37	FAIL
99	1,86	3618,74	0,000201	0,294564	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,12	FAIL
100	1,53	3618,74	0,000201	0,199315	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,60	OK

Kondisi B

Clay

Length of Span : **1-2 m**

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	1,74	2284,93	0,000201	0,117843	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,28	OK
2	1,93	2284,93	0,000201	0,144983	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,37	OK
3	1,36	2284,93	0,000201	0,071992	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,16	OK
4	1,02	2284,93	0,000201	0,040496	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,11	OK
5	1,63	2284,93	0,000201	0,103414	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,24	OK
6	1,66	2284,93	0,000201	0,107256	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,25	OK
7	1,74	2284,93	0,000201	0,117843	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,28	OK
8	1,92	2284,93	0,000201	0,143485	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,37	OK
9	1,14	2284,93	0,000201	0,050585	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK
10	1,12	2284,93	0,000201	0,048826	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK
11	1,96	2284,93	0,000201	0,149525	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,39	OK
12	1,32	2284,93	0,000201	0,06782	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,16	OK
13	1,23	2284,93	0,000201	0,058887	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,14	OK
14	1,14	2284,93	0,000201	0,050585	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	1,77	2284,93	0,000201	0,121941	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK
16	1,28	2284,93	0,000201	0,063772	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,15	OK
17	1,87	2284,93	0,000201	0,136109	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,34	OK
18	1,25	2284,93	0,000201	0,060818	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,14	OK
19	1,94	2284,93	0,000201	0,146489	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,38	OK
20	1,28	2284,93	0,000201	0,063772	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,15	OK
81	1,79	2284,93	0,000201	0,124712	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,31	OK
82	1,41	2284,93	0,000201	0,077383	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,18	OK
83	1,93	2284,93	0,000201	0,144983	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,37	OK
84	1,25	2284,93	0,000201	0,060818	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,14	OK
85	1,24	2284,93	0,000201	0,059848	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,14	OK
86	1,26	2284,93	0,000201	0,061794	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,14	OK
87	1,77	2284,93	0,000201	0,121941	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK
88	1,18	2284,93	0,000201	0,054197	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,13	OK
89	1,42	2284,93	0,000201	0,078484	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,18	OK
90	1,10	2284,93	0,000201	0,047097	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK
91	1,93	2284,93	0,000201	0,144983	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,37	OK
92	1,75	2284,93	0,000201	0,119201	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,29	OK

No	L	σ_{CF}	I _s	M _{sd}	M _p	S _{sd}	S _p	P _i	P _e	P _b	Ratio	Status
93	1,09	2284,93	0,000201	0,046245	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK
94	1,98	2284,93	0,000201	0,152592	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,40	OK
95	1,09	2284,93	0,000201	0,046245	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK
96	1,76	2284,93	0,000201	0,120567	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,29	OK
97	1,99	2284,93	0,000201	0,154138	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,41	OK
98	1,81	2284,93	0,000201	0,127515	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,31	OK
99	1,82	2284,93	0,000201	0,128928	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,32	OK
100	1,88	2284,93	0,000201	0,137568	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,35	OK

Kondisi B

Sand

Length of Span : 2 - 3 m

OK	0
FAIL	100

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	2,29	3618,74	0,000201	0,446501	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,32	FAIL
2	2,68	3618,74	0,000201	0,611532	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,12	FAIL
3	2,06	3618,74	0,000201	0,361316	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,59	FAIL
4	2,38	3618,74	0,000201	0,482286	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,67	FAIL
5	2,36	3618,74	0,000201	0,474215	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,59	FAIL
6	2,91	3618,74	0,000201	0,721	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,61	FAIL
7	2,37	3618,74	0,000201	0,478242	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,63	FAIL
8	2,44	3618,74	0,000201	0,506909	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,92	FAIL
9	2,49	3618,74	0,000201	0,527897	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,15	FAIL
10	2,09	3618,74	0,000201	0,371916	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,68	FAIL
11	2,58	3618,74	0,000201	0,566747	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,58	FAIL
12	2,04	3618,74	0,000201	0,354334	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,54	FAIL
13	2,88	3618,74	0,000201	0,706211	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,40	FAIL
14	2,18	3618,74	0,000201	0,404636	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,95	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	2,70	3618,74	0,000201	0,620694	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,24	FAIL
16	2,48	3618,74	0,000201	0,523665	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,10	FAIL
17	2,38	3618,74	0,000201	0,482286	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,67	FAIL
18	2,09	3618,74	0,000201	0,371916	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,68	FAIL
19	2,90	3618,74	0,000201	0,716053	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,54	FAIL
20	2,82	3618,74	0,000201	0,677092	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,99	FAIL
80	2,22	3618,74	0,000201	0,419621	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,08	FAIL
81	2,53	3618,74	0,000201	0,544994	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,33	FAIL
82	2,53	3618,74	0,000201	0,544994	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,33	FAIL
83	2,72	3618,74	0,000201	0,629923	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,36	FAIL
84	2,27	3618,74	0,000201	0,438736	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,25	FAIL
85	2,57	3618,74	0,000201	0,562363	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,53	FAIL
86	2,87	3618,74	0,000201	0,701315	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,33	FAIL
87	2,07	3618,74	0,000201	0,364832	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,62	FAIL
88	2,79	3618,74	0,000201	0,662763	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,79	FAIL
89	2,07	3618,74	0,000201	0,364832	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,62	FAIL
90	2,90	3618,74	0,000201	0,716053	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,54	FAIL
91	2,18	3618,74	0,000201	0,404636	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,95	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	2,84	3618,74	0,000201	0,68673	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,12	FAIL
93	2,56	3618,74	0,000201	0,557995	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,48	FAIL
94	2,31	3618,74	0,000201	0,454334	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,39	FAIL
95	2,37	3618,74	0,000201	0,478242	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,63	FAIL
96	2,70	3618,74	0,000201	0,620694	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,24	FAIL
97	2,81	3618,74	0,000201	0,672298	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,92	FAIL
98	2,60	3618,74	0,000201	0,575568	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,69	FAIL
99	2,91	3618,74	0,000201	0,721	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,61	FAIL
100	2,57	3618,74	0,000201	0,562363	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,53	FAIL

Kondisi B

Clay

Length of Span : **2 - 3 m**

OK	63
FAIL	37

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	2,43	2284,93	0,000201	0,229834	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,75	OK
2	2,00	2284,93	0,000201	0,155691	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,41	OK
3	2,06	2284,93	0,000201	0,165172	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,45	OK
4	2,14	2284,93	0,000201	0,17825	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,50	OK
5	2,83	2284,93	0,000201	0,311726	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,24	FAIL
6	2,18	2284,93	0,000201	0,184976	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,53	OK
7	2,53	2284,93	0,000201	0,249139	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,85	OK
8	2,87	2284,93	0,000201	0,3206	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,30	FAIL
9	2,91	2284,93	0,000201	0,329599	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,36	FAIL
10	2,79	2284,93	0,000201	0,302976	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,18	FAIL
11	2,06	2284,93	0,000201	0,165172	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,45	OK
12	2,15	2284,93	0,000201	0,17992	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,51	OK
13	2,12	2284,93	0,000201	0,174934	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,49	OK
14	2,42	2284,93	0,000201	0,227946	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,74	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	2,77	2284,93	0,000201	0,298648	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,15	FAIL
16	2,27	2284,93	0,000201	0,200564	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,60	OK
17	2,80	2284,93	0,000201	0,305152	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,19	FAIL
18	2,52	2284,93	0,000201	0,247173	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,84	OK
19	2,65	2284,93	0,000201	0,273333	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,99	OK
20	2,91	2284,93	0,000201	0,329599	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,36	FAIL
80	2,25	2284,93	0,000201	0,197045	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,59	OK
81	2,13	2284,93	0,000201	0,176588	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,50	OK
82	2,35	2284,93	0,000201	0,21495	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,67	OK
83	2,91	2284,93	0,000201	0,329599	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,36	FAIL
84	2,14	2284,93	0,000201	0,17825	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,50	OK
85	2,11	2284,93	0,000201	0,173287	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,48	OK
86	2,51	2284,93	0,000201	0,245216	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,83	OK
87	2,37	2284,93	0,000201	0,218624	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,69	OK
88	2,33	2284,93	0,000201	0,211307	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,65	OK
89	2,87	2284,93	0,000201	0,3206	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,30	FAIL
90	2,24	2284,93	0,000201	0,195298	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,58	OK
91	2,74	2284,93	0,000201	0,292214	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,11	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	2,28	2284,93	0,000201	0,202335	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,61	OK
93	2,11	2284,93	0,000201	0,173287	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,48	OK
94	2,59	2284,93	0,000201	0,261096	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,92	OK
95	2,55	2284,93	0,000201	0,253094	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,87	OK
96	2,59	2284,93	0,000201	0,261096	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,92	OK
97	2,62	2284,93	0,000201	0,267179	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,95	OK
98	2,52	2284,93	0,000201	0,247173	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,84	OK
99	2,44	2284,93	0,000201	0,231729	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,76	OK
100	2,21	2284,93	0,000201	0,190102	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,55	OK

Kondisi B

Sand

Length of Span : **3-4 m**

OK	0
FAIL	100

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	3,12	3618,74	0,000201	0,828816	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	7,30	FAIL
2	3,42	3618,74	0,000201	0,995865	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,35	FAIL
3	3,60	3618,74	0,000201	1,103451	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,60	FAIL
4	3,33	3618,74	0,000201	0,944141	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	9,35	FAIL
5	3,70	3618,74	0,000201	1,165605	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	14,00	FAIL
6	3,53	3618,74	0,000201	1,060957	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	11,68	FAIL
7	3,33	3618,74	0,000201	0,944141	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	9,35	FAIL
8	3,73	3618,74	0,000201	1,184583	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	14,44	FAIL
9	3,64	3618,74	0,000201	1,128109	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	13,15	FAIL
10	3,80	3618,74	0,000201	1,229462	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	15,52	FAIL
11	3,52	3618,74	0,000201	1,054954	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	11,56	FAIL
12	3,59	3618,74	0,000201	1,09733	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,47	FAIL
13	3,58	3618,74	0,000201	1,091225	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,33	FAIL
14	3,96	3618,74	0,000201	1,335175	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	18,20	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	3,10	3618,74	0,000201	0,818224	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	7,12	FAIL
16	3,92	3618,74	0,000201	1,308338	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	17,50	FAIL
17	3,58	3618,74	0,000201	1,091225	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,33	FAIL
18	3,84	3618,74	0,000201	1,255482	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	16,16	FAIL
19	4,00	3618,74	0,000201	1,362284	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	18,92	FAIL
20	3,15	3618,74	0,000201	0,844831	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	7,57	FAIL
80	3,50	3618,74	0,000201	1,043	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	11,31	FAIL
81	3,59	3618,74	0,000201	1,09733	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,47	FAIL
82	3,58	3618,74	0,000201	1,091225	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,33	FAIL
83	3,22	3618,74	0,000201	0,882796	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,22	FAIL
84	3,40	3618,74	0,000201	0,984252	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,12	FAIL
85	3,97	3618,74	0,000201	1,341927	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	18,38	FAIL
86	3,25	3618,74	0,000201	0,899322	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,52	FAIL
87	3,98	3618,74	0,000201	1,348696	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	18,56	FAIL
88	3,21	3618,74	0,000201	0,877321	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,13	FAIL
89	3,78	3618,74	0,000201	1,216554	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	15,20	FAIL
90	3,58	3618,74	0,000201	1,091225	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,33	FAIL
91	3,47	3618,74	0,000201	1,025197	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,94	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	3,58	3618,74	0,000201	1,091225	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,33	FAIL
93	3,51	3618,74	0,000201	1,048969	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	11,43	FAIL
94	3,05	3618,74	0,000201	0,792043	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,70	FAIL
95	3,36	3618,74	0,000201	0,961229	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	9,67	FAIL
96	3,86	3618,74	0,000201	1,268594	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	16,49	FAIL
97	3,35	3618,74	0,000201	0,955516	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	9,56	FAIL
98	3,30	3618,74	0,000201	0,927206	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	9,03	FAIL
99	3,55	3618,74	0,000201	1,073013	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	11,94	FAIL
100	3,20	3618,74	0,000201	0,871864	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,03	FAIL

Kondisi B

Clay

Length of Span : **3-4 m**

OK	0
FAIL	100

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	3,77	2284,93	0,000201	0,5532	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,43	FAIL
2	3,62	2284,93	0,000201	0,510054	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,95	FAIL
3	3,45	2284,93	0,000201	0,463274	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,48	FAIL
4	3,71	2284,93	0,000201	0,535731	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,23	FAIL
5	3,87	2284,93	0,000201	0,582936	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,78	FAIL
6	3,66	2284,93	0,000201	0,521389	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,07	FAIL
7	3,60	2284,93	0,000201	0,504434	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,89	FAIL
8	3,05	2284,93	0,000201	0,362076	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,60	FAIL
9	3,78	2284,93	0,000201	0,556138	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,46	FAIL
10	3,48	2284,93	0,000201	0,471366	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,56	FAIL
11	3,15	2284,93	0,000201	0,386208	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,79	FAIL
12	3,32	2284,93	0,000201	0,429018	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,16	FAIL
13	3,44	2284,93	0,000201	0,460592	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,45	FAIL
14	3,80	2284,93	0,000201	0,562039	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,53	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	3,59	2284,93	0,000201	0,501635	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,87	FAIL
16	3,71	2284,93	0,000201	0,535731	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,23	FAIL
17	3,34	2284,93	0,000201	0,434203	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,21	FAIL
18	3,46	2284,93	0,000201	0,465963	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,51	FAIL
19	3,04	2284,93	0,000201	0,359705	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,58	FAIL
20	3,31	2284,93	0,000201	0,426438	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,14	FAIL
80	3,10	2284,93	0,000201	0,374044	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,69	FAIL
81	3,09	2284,93	0,000201	0,371635	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,67	FAIL
82	3,40	2284,93	0,000201	0,449943	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,35	FAIL
83	3,92	2284,93	0,000201	0,598096	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,96	FAIL
84	3,86	2284,93	0,000201	0,579928	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,74	FAIL
85	3,65	2284,93	0,000201	0,518543	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,04	FAIL
86	3,14	2284,93	0,000201	0,383759	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,77	FAIL
87	3,06	2284,93	0,000201	0,364454	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,62	FAIL
88	3,40	2284,93	0,000201	0,449943	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,35	FAIL
89	3,65	2284,93	0,000201	0,518543	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,04	FAIL
90	3,61	2284,93	0,000201	0,50724	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,92	FAIL
91	3,93	2284,93	0,000201	0,601152	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,00	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	3,51	2284,93	0,000201	0,479528	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,64	FAIL
93	3,49	2284,93	0,000201	0,474079	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,59	FAIL
94	3,94	2284,93	0,000201	0,604215	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,03	FAIL
95	3,77	2284,93	0,000201	0,5532	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,43	FAIL
96	3,69	2284,93	0,000201	0,529971	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,17	FAIL
97	3,30	2284,93	0,000201	0,423865	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,11	FAIL
98	3,65	2284,93	0,000201	0,518543	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,04	FAIL
99	3,45	2284,93	0,000201	0,463274	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,48	FAIL
100	3,27	2284,93	0,000201	0,416193	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,05	FAIL

Kondisi C

Sand

Length of Span : **0 -1 m**

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	0,98	4161,551	0,000201	0,100648436	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,23	OK
2	0,22	4161,551	0,000201	0,005079323	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
3	0,02	4161,551	0,000201	4,93702E-05	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
4	0,94	4161,551	0,000201	0,092600511	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,21	OK
5	0,54	4161,551	0,000201	0,03056442	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
6	0,56	4161,551	0,000201	0,032869815	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
7	0,40	4161,551	0,000201	0,016773965	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
8	0,26	4161,551	0,000201	0,007091305	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
9	0,46	4161,551	0,000201	0,022181165	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
10	0,25	4161,551	0,000201	0,006556872	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
11	0,15	4161,551	0,000201	0,002365244	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
12	0,81	4161,551	0,000201	0,068760628	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,16	OK
13	0,77	4161,551	0,000201	0,062137856	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,14	OK
14	0,60	4161,551	0,000201	0,037732104	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	0,41	4161,551	0,000201	0,017622769	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
16	0,77	4161,551	0,000201	0,062137856	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,14	OK
17	0,66	4161,551	0,000201	0,04565428	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,11	OK
18	0,16	4161,551	0,000201	0,002690096	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
19	0,93	4161,551	0,000201	0,090640925	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,21	OK
20	0,53	4161,551	0,000201	0,02944316	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
80	0,39	4161,551	0,000201	0,015946118	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
81	0,47	4161,551	0,000201	0,023155718	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
82	0,74	4161,551	0,000201	0,057390838	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,14	OK
83	0,10	4161,551	0,000201	0,001055361	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
84	0,30	4161,551	0,000201	0,009438616	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
85	0,05	4161,551	0,000201	0,000269431	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
86	0,92	4161,551	0,000201	0,088702297	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,20	OK
87	0,54	4161,551	0,000201	0,03056442	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
88	0,24	4161,551	0,000201	0,006043398	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
89	0,61	4161,551	0,000201	0,039000071	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
90	0,14	4161,551	0,000201	0,002061351	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
91	0,21	4161,551	0,000201	0,004628723	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	0,41	4161,551	0,000201	0,017622769	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
93	0,43	4161,551	0,000201	0,019383253	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
94	0,03	4161,551	0,000201	0,000101766	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
95	0,28	4161,551	0,000201	0,008223044	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
96	0,09	4161,551	0,000201	0,000856259	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
97	0,32	4161,551	0,000201	0,010738021	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
98	0,72	4161,551	0,000201	0,054330949	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,13	OK
99	0,27	4161,551	0,000201	0,007646695	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
100	0,78	4161,551	0,000201	0,063762112	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,15	OK

Kondisi C

Clay

Length of Span : 0 -1 m

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	0,40	2720,148	0,000201	0,007267599	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
2	0,97	2720,148	0,000201	0,042727722	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,11	OK
3	0,57	2720,148	0,000201	0,014755593	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
4	0,56	2720,148	0,000201	0,014242468	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
5	0,65	2720,148	0,000201	0,019187541	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
6	0,68	2720,148	0,000201	0,020999372	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
7	0,92	2720,148	0,000201	0,038436543	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
8	0,75	2720,148	0,000201	0,025544843	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
9	0,95	2720,148	0,000201	0,040984005	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,11	OK
10	0,75	2720,148	0,000201	0,025544843	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
11	0,62	2720,148	0,000201	0,017457446	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
12	0,49	2720,148	0,000201	0,010904884	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
13	0,97	2720,148	0,000201	0,042727722	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,11	OK
14	0,16	2720,148	0,000201	0,001164589	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	0,34	2720,148	0,000201	0,005251426	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
16	0,37	2720,148	0,000201	0,006218645	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
17	0,66	2720,148	0,000201	0,019782403	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
18	0,83	2720,148	0,000201	0,031284578	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
19	0,84	2720,148	0,000201	0,032042914	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
20	0,65	2720,148	0,000201	0,019187541	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
80	0,07	2720,148	0,000201	0,000224617	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
81	0,10	2720,148	0,000201	0,000456204	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
82	0,31	2720,148	0,000201	0,004365945	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
83	0,20	2720,148	0,000201	0,001818483	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
84	0,15	2720,148	0,000201	0,001023821	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
85	0,87	2720,148	0,000201	0,034372411	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,10	OK
86	0,59	2720,148	0,000201	0,015809089	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
87	0,41	2720,148	0,000201	0,007635415	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
88	0,69	2720,148	0,000201	0,021621479	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,08	OK
89	0,55	2720,148	0,000201	0,013738425	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
90	0,96	2720,148	0,000201	0,041851323	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,11	OK
91	0,05	2720,148	0,000201	0,000115635	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	0,26	2720,148	0,000201	0,00307178	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
93	0,81	2720,148	0,000201	0,029795153	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
94	0,36	2720,148	0,000201	0,005887157	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,06	OK
95	0,60	2720,148	0,000201	0,016349459	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
96	0,61	2720,148	0,000201	0,016898912	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
97	0,59	2720,148	0,000201	0,015809089	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
98	0,42	2720,148	0,000201	0,008012312	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK
99	0,79	2720,148	0,000201	0,028342056	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,09	OK
100	0,59	2720,148	0,000201	0,015809089	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,07	OK

Kondisi C

Sand

Length of Span : **1-2 m**

OK	57
FAIL	43

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	1,70	4161,551	0,000201	0,302853	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,18	FAIL
2	1,87	4161,551	0,000201	0,36645	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,63	FAIL
3	1,11	4161,551	0,000201	0,12912	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,32	OK
4	1,52	4161,551	0,000201	0,242116	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,81	OK
5	1,86	4161,551	0,000201	0,362541	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,60	FAIL
6	1,99	4161,551	0,000201	0,414989	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,04	FAIL
7	1,80	4161,551	0,000201	0,339529	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,43	FAIL
8	1,42	4161,551	0,000201	0,211307	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,65	OK
9	1,20	4161,551	0,000201	0,150906	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,40	OK
10	1,12	4161,551	0,000201	0,131457	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,33	OK
11	1,53	4161,551	0,000201	0,245312	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,83	OK
12	1,36	4161,551	0,000201	0,193828	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,57	OK
13	1,09	4161,551	0,000201	0,124509	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK
14	1,88	4161,551	0,000201	0,37038	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,67	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	1,41	4161,551	0,000201	0,208342	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,64	OK
16	1,08	4161,551	0,000201	0,122235	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK
17	2,00	4161,551	0,000201	0,41917	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,07	FAIL
18	1,85	4161,551	0,000201	0,358654	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,57	FAIL
19	1,25	4161,551	0,000201	0,163743	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,44	OK
20	1,36	4161,551	0,000201	0,193828	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,57	OK
80	1,83	4161,551	0,000201	0,350941	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,52	FAIL
81	1,63	4161,551	0,000201	0,278426	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,02	FAIL
82	1,35	4161,551	0,000201	0,190988	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,56	OK
83	1,88	4161,551	0,000201	0,37038	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,67	FAIL
84	1,98	4161,551	0,000201	0,410829	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,00	FAIL
85	1,68	4161,551	0,000201	0,295769	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,13	FAIL
86	1,61	4161,551	0,000201	0,271635	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,98	OK
87	1,96	4161,551	0,000201	0,402571	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,93	FAIL
88	1,90	4161,551	0,000201	0,378302	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,73	FAIL
89	1,52	4161,551	0,000201	0,242116	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,81	OK
90	1,33	4161,551	0,000201	0,185372	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,53	OK
91	1,27	4161,551	0,000201	0,169024	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,47	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	1,26	4161,551	0,000201	0,166373	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,45	OK
93	1,42	4161,551	0,000201	0,211307	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,65	OK
94	1,74	4161,551	0,000201	0,317272	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,27	FAIL
95	1,16	4161,551	0,000201	0,141014	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,36	OK
96	1,24	4161,551	0,000201	0,161134	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,43	OK
97	1,08	4161,551	0,000201	0,122235	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK
98	1,48	4161,551	0,000201	0,229541	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,74	OK
99	1,87	4161,551	0,000201	0,36645	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,63	FAIL
100	1,50	4161,551	0,000201	0,235787	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,78	OK

Kondisi C

Clay

Length of Span : **1-2 m**

OK	100
FAIL	0

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	1,93	2720,148	0,000201	0,169147	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,47	OK
2	1,51	2720,148	0,000201	0,10354	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,24	OK
3	1,53	2720,148	0,000201	0,106301	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,25	OK
4	1,69	2720,148	0,000201	0,129696	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,32	OK
5	1,22	2720,148	0,000201	0,067589	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,16	OK
6	1,55	2720,148	0,000201	0,109098	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,26	OK
7	1,81	2720,148	0,000201	0,148768	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,39	OK
8	1,47	2720,148	0,000201	0,098127	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,23	OK
9	1,64	2720,148	0,000201	0,122135	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK
10	1,93	2720,148	0,000201	0,169147	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,47	OK
11	1,74	2720,148	0,000201	0,137483	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,35	OK
12	1,02	2720,148	0,000201	0,047246	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK
13	1,50	2720,148	0,000201	0,102173	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,24	OK
14	1,10	2720,148	0,000201	0,054947	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,13	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	1,64	2720,148	0,000201	0,122135	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK
16	1,96	2720,148	0,000201	0,174446	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,49	OK
17	1,80	2720,148	0,000201	0,147128	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,38	OK
18	1,02	2720,148	0,000201	0,047246	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,12	OK
19	1,69	2720,148	0,000201	0,129696	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,32	OK
20	1,47	2720,148	0,000201	0,098127	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,23	OK
80	1,65	2720,148	0,000201	0,123629	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,30	OK
81	1,46	2720,148	0,000201	0,096797	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,22	OK
82	1,77	2720,148	0,000201	0,142265	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,36	OK
83	1,40	2720,148	0,000201	0,089004	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,20	OK
84	1,97	2720,148	0,000201	0,176231	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,49	OK
85	1,66	2720,148	0,000201	0,125132	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,31	OK
86	1,46	2720,148	0,000201	0,096797	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,22	OK
87	1,10	2720,148	0,000201	0,054947	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,13	OK
88	1,93	2720,148	0,000201	0,169147	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,47	OK
89	1,39	2720,148	0,000201	0,087737	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,20	OK
90	1,96	2720,148	0,000201	0,174446	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,49	OK
91	1,81	2720,148	0,000201	0,148768	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,39	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	1,37	2720,148	0,000201	0,085231	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,20	OK
93	1,82	2720,148	0,000201	0,150416	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,39	OK
94	1,25	2720,148	0,000201	0,070954	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,16	OK
95	1,48	2720,148	0,000201	0,099467	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,23	OK
96	1,80	2720,148	0,000201	0,147128	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,38	OK
97	1,30	2720,148	0,000201	0,076744	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,18	OK
98	1,82	2720,148	0,000201	0,150416	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,39	OK
99	1,90	2720,148	0,000201	0,16393	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,44	OK
100	1,50	2720,148	0,000201	0,102173	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,24	OK

Kondisi C

Sand

Length of Span : **2-3 m**

OK	0
FAIL	100

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	2,37	4161,551	0,000201	0,588606	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,84	FAIL
2	2,53	4161,551	0,000201	0,670762	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,90	FAIL
3	2,72	4161,551	0,000201	0,775291	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,43	FAIL
4	2,68	4161,551	0,000201	0,752656	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,08	FAIL
5	2,56	4161,551	0,000201	0,686764	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,12	FAIL
6	2,34	4161,551	0,000201	0,573799	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,67	FAIL
7	2,72	4161,551	0,000201	0,775291	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,43	FAIL
8	2,46	4161,551	0,000201	0,634159	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,41	FAIL
9	2,50	4161,551	0,000201	0,654949	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,69	FAIL
10	2,04	4161,551	0,000201	0,436104	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,22	FAIL
11	2,15	4161,551	0,000201	0,484402	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,69	FAIL
12	2,77	4161,551	0,000201	0,804056	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,89	FAIL
13	2,97	4161,551	0,000201	0,924356	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,98	FAIL
14	2,53	4161,551	0,000201	0,670762	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,90	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	2,14	4161,551	0,000201	0,479907	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,64	FAIL
16	2,04	4161,551	0,000201	0,436104	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,22	FAIL
17	2,30	4161,551	0,000201	0,55435	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,44	FAIL
18	2,16	4161,551	0,000201	0,488919	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,73	FAIL
19	2,63	4161,551	0,000201	0,724834	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,67	FAIL
20	2,07	4161,551	0,000201	0,449025	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,34	FAIL
80	2,96	4161,551	0,000201	0,918142	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,86	FAIL
81	2,77	4161,551	0,000201	0,804056	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,89	FAIL
82	2,49	4161,551	0,000201	0,64972	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,62	FAIL
83	2,92	4161,551	0,000201	0,893495	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,42	FAIL
84	2,20	4161,551	0,000201	0,507194	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,92	FAIL
85	2,09	4161,551	0,000201	0,457744	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,43	FAIL
86	2,19	4161,551	0,000201	0,502594	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,88	FAIL
87	2,89	4161,551	0,000201	0,87523	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	8,09	FAIL
88	2,32	4161,551	0,000201	0,564033	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,55	FAIL
89	2,75	4161,551	0,000201	0,792487	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,70	FAIL
90	2,83	4161,551	0,000201	0,839266	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	7,47	FAIL
91	2,48	4161,551	0,000201	0,644512	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,55	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	2,51	4161,551	0,000201	0,660199	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,76	FAIL
93	2,38	4161,551	0,000201	0,593584	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,90	FAIL
94	2,18	4161,551	0,000201	0,498015	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,83	FAIL
95	2,54	4161,551	0,000201	0,676075	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,97	FAIL
96	2,26	4161,551	0,000201	0,535236	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,23	FAIL
97	2,48	4161,551	0,000201	0,644512	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,55	FAIL
98	2,26	4161,551	0,000201	0,535236	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,23	FAIL
99	2,72	4161,551	0,000201	0,775291	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	6,43	FAIL
100	2,84	4161,551	0,000201	0,845207	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	7,57	FAIL

Kondisi C

Clay

Length of Span : **2-3 m**

OK	46
FAIL	54

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	2,91	2720,148	0,000201	0,384533	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,78	FAIL
2	2,59	2720,148	0,000201	0,304612	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,19	FAIL
3	2,09	2720,148	0,000201	0,198354	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,59	OK
4	2,72	2720,148	0,000201	0,335958	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,40	FAIL
5	2,78	2720,148	0,000201	0,350943	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,52	FAIL
6	2,34	2720,148	0,000201	0,248645	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,85	OK
7	2,28	2720,148	0,000201	0,236058	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,78	OK
8	2,29	2720,148	0,000201	0,238133	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,79	OK
9	2,36	2720,148	0,000201	0,252914	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,87	OK
10	2,90	2720,148	0,000201	0,381894	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,76	FAIL
11	2,68	2720,148	0,000201	0,32615	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,33	FAIL
12	2,64	2720,148	0,000201	0,316487	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,27	FAIL
13	2,11	2720,148	0,000201	0,202169	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,61	OK
14	2,90	2720,148	0,000201	0,381894	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,76	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	2,94	2720,148	0,000201	0,392502	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,84	FAIL
16	2,97	2720,148	0,000201	0,400553	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,91	FAIL
17	2,54	2720,148	0,000201	0,292965	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,11	FAIL
18	2,30	2720,148	0,000201	0,240217	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,80	OK
19	2,15	2720,148	0,000201	0,209907	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,65	OK
20	2,40	2720,148	0,000201	0,26156	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,92	OK
80	2,97	2720,148	0,000201	0,400553	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,91	FAIL
81	2,18	2720,148	0,000201	0,215805	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,67	OK
82	2,92	2720,148	0,000201	0,38718	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,80	FAIL
83	2,75	2720,148	0,000201	0,34341	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,46	FAIL
84	2,03	2720,148	0,000201	0,187129	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,54	OK
85	2,30	2720,148	0,000201	0,240217	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,80	OK
86	2,25	2720,148	0,000201	0,229887	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,75	OK
87	2,17	2720,148	0,000201	0,21383	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,66	OK
88	2,10	2720,148	0,000201	0,200257	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,60	OK
89	2,78	2720,148	0,000201	0,350943	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,52	FAIL
90	2,80	2720,148	0,000201	0,356011	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,55	FAIL
91	2,03	2720,148	0,000201	0,187129	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,54	OK

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	2,04	2720,148	0,000201	0,188977	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,55	OK
93	2,36	2720,148	0,000201	0,252914	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,87	OK
94	2,87	2720,148	0,000201	0,374034	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,69	FAIL
95	2,23	2720,148	0,000201	0,225818	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,72	OK
96	2,25	2720,148	0,000201	0,229887	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,75	OK
97	2,13	2720,148	0,000201	0,20602	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,63	OK
98	2,09	2720,148	0,000201	0,198354	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,59	OK
99	2,07	2720,148	0,000201	0,194576	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	0,57	OK
100	2,58	2720,148	0,000201	0,302265	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	1,17	FAIL

Kondisi C

Sand

Length of Span : **3-4 m**

OK	0
FAIL	100

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	3,18	4161,551	0,000201	1,059693	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	11,66	FAIL
2	3,55	4161,551	0,000201	1,320632	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	17,82	FAIL
3	3,49	4161,551	0,000201	1,276369	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	16,68	FAIL
4	3,18	4161,551	0,000201	1,059693	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	11,66	FAIL
5	3,38	4161,551	0,000201	1,197178	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	14,74	FAIL
6	3,94	4161,551	0,000201	1,626736	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	26,71	FAIL
7	3,77	4161,551	0,000201	1,489387	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	22,50	FAIL
8	3,06	4161,551	0,000201	0,981226	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,06	FAIL
9	3,16	4161,551	0,000201	1,046405	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	11,38	FAIL
10	3,30	4161,551	0,000201	1,141178	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	13,44	FAIL
11	3,42	4161,551	0,000201	1,225681	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	15,43	FAIL
12	3,09	4161,551	0,000201	1,000559	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,44	FAIL
13	3,93	4161,551	0,000201	1,618489	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	26,45	FAIL
14	3,26	4161,551	0,000201	1,113681	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	12,83	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	3,72	4161,551	0,000201	1,450143	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	21,36	FAIL
16	3,79	4161,551	0,000201	1,505231	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	22,96	FAIL
17	3,28	4161,551	0,000201	1,127388	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	13,13	FAIL
18	3,04	4161,551	0,000201	0,968441	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	9,81	FAIL
19	3,89	4161,551	0,000201	1,585711	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	25,41	FAIL
20	3,83	4161,551	0,000201	1,537172	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	23,92	FAIL
80	3,05	4161,551	0,000201	0,974823	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	9,94	FAIL
81	3,75	4161,551	0,000201	1,473627	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	22,04	FAIL
82	3,42	4161,551	0,000201	1,225681	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	15,43	FAIL
83	3,90	4161,551	0,000201	1,593874	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	25,67	FAIL
84	3,40	4161,551	0,000201	1,211388	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	15,08	FAIL
85	3,95	4161,551	0,000201	1,635004	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	26,97	FAIL
86	3,46	4161,551	0,000201	1,25452	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	16,13	FAIL
87	3,70	4161,551	0,000201	1,434592	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	20,92	FAIL
88	3,45	4161,551	0,000201	1,247279	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	15,95	FAIL
89	3,99	4161,551	0,000201	1,668286	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	28,05	FAIL
90	3,79	4161,551	0,000201	1,505231	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	22,96	FAIL
91	3,12	4161,551	0,000201	1,020082	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,84	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	3,97	4161,551	0,000201	1,651603	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	27,51	FAIL
93	3,99	4161,551	0,000201	1,668286	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	28,05	FAIL
94	3,86	4161,551	0,000201	1,561347	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	24,66	FAIL
95	3,31	4161,551	0,000201	1,148105	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	13,60	FAIL
96	3,42	4161,551	0,000201	1,225681	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	15,43	FAIL
97	3,92	4161,551	0,000201	1,610263	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	26,18	FAIL
98	3,88	4161,551	0,000201	1,577568	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	25,16	FAIL
99	3,66	4161,551	0,000201	1,403742	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	20,05	FAIL
100	3,10	4161,551	0,000201	1,007046	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	10,57	FAIL

Kondisi C

Clay

Length of Span : **3-4 m**

OK	0
FAIL	100

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
1	3,64	2720,148	0,000201	0,601657	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,00	FAIL
2	4,00	2720,148	0,000201	0,726551	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,69	FAIL
3	3,39	2720,148	0,000201	0,52185	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,08	FAIL
4	3,13	2720,148	0,000201	0,444872	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,31	FAIL
5	3,24	2720,148	0,000201	0,476691	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,61	FAIL
6	3,01	2720,148	0,000201	0,411415	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,00	FAIL
7	3,60	2720,148	0,000201	0,588507	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,84	FAIL
8	3,61	2720,148	0,000201	0,591781	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,88	FAIL
9	3,77	2720,148	0,000201	0,6454	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,56	FAIL
10	3,56	2720,148	0,000201	0,575501	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,69	FAIL
11	3,09	2720,148	0,000201	0,433575	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,20	FAIL
12	3,67	2720,148	0,000201	0,611615	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,13	FAIL
13	3,15	2720,148	0,000201	0,450576	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,36	FAIL
14	3,03	2720,148	0,000201	0,4169	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,05	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
15	3,29	2720,148	0,000201	0,491517	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,76	FAIL
16	3,86	2720,148	0,000201	0,676583	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,98	FAIL
17	3,41	2720,148	0,000201	0,528026	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,15	FAIL
18	3,08	2720,148	0,000201	0,430773	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,18	FAIL
19	3,16	2720,148	0,000201	0,453441	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,39	FAIL
20	3,97	2720,148	0,000201	0,715694	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,53	FAIL
80	3,78	2720,148	0,000201	0,648828	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,60	FAIL
81	3,04	2720,148	0,000201	0,419657	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,08	FAIL
82	3,92	2720,148	0,000201	0,69778	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,28	FAIL
83	3,35	2720,148	0,000201	0,509608	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,95	FAIL
84	3,10	2720,148	0,000201	0,436385	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,23	FAIL
85	3,30	2720,148	0,000201	0,494509	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,79	FAIL
86	3,42	2720,148	0,000201	0,531127	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,18	FAIL
87	3,12	2720,148	0,000201	0,442034	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,28	FAIL
88	3,75	2720,148	0,000201	0,63857	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,47	FAIL
89	3,59	2720,148	0,000201	0,585242	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,80	FAIL
90	3,79	2720,148	0,000201	0,652266	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,65	FAIL
91	3,04	2720,148	0,000201	0,419657	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,08	FAIL

No	L	σ_{CF}	I_s	M_{sd}	M_p	S_{sd}	S_p	P_i	P_e	P_b	Ratio	Status
92	3,82	2720,148	0,000201	0,662633	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,79	FAIL
93	3,65	2720,148	0,000201	0,604968	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,04	FAIL
94	3,49	2720,148	0,000201	0,553092	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	3,43	FAIL
95	3,31	2720,148	0,000201	0,497511	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,82	FAIL
96	3,96	2720,148	0,000201	0,712093	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	5,48	FAIL
97	3,29	2720,148	0,000201	0,491517	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,76	FAIL
98	3,22	2720,148	0,000201	0,470824	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,55	FAIL
99	3,75	2720,148	0,000201	0,63857	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	4,47	FAIL
100	3,06	2720,148	0,000201	0,425197	0,487	-1,047	4,427	14,000	6,07	27,20	2,13	FAIL

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yang menjadi jawaban atas permasalahan yang tertulis di rumusan masalah. Berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut :

1. Terjadi penurunan tanah yang dipertimbangkan dalam penelitian ini.
2. Dalam penelitian ini, momen *bending* hanya memperhitungkan momen *bending* akibat VIV. hal ini, didasarkan pada fenomena pipa sesaat setelah terjadi gempa, terdapat aliran fluida yang cukup besar mengenai pipa sehingga terjadi *span gap ratio* dan menimbulkan momen *bending*. Semakin besar momen maka semakin pendek span yang diizinkan
3. Pengaruh *wave-induced liquefaction* pada setiap konfigurasi kedalaman sebagai berikut :
 - Pada kedalaman dangkal (0 – 6 m), faktor keamanan terbesar yang terjadi sebesar 0,1592
 - Pada kedalaman menengah (6 – 60 m), faktor keamanan terbesar yang terjadi sebesar 0,0125
 - Pada kedalaman dalam (deep-sea) (60 – 600 m), faktor keamanan yang terjadi sebesar 0,0002

Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin dalam maka peluang terjadinya liquefaction semakin besar karena nilai faktor keamanan semakin rendah.

4. Besar frekuensi yang terjadi diambil dari kejadian selama 100 tahun yang didapatkan frekuensi tahunan sebesar $7,1 \times 10^{-1}$ atau pada ranking 5 berdasarkan DNV RP-F 107. Menurut DNV RP F 107, ranking 5 dianggap gempa terjadi minimal satu kali dalam satu tahun.
5. Besar konsekuensi akibat gempa untuk masing-masing skenario pipa berdasarkan jaraknya adalah sebagai berikut :

- $P_{fail} \leq 0.1\%$ (**Ranking 1**) :

Kondisi A

- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah pasir

- Kondisi bentangan 1- 2 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah lempung
- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah lempung

Kondisi B

- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah lempung
- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah lempung

Kondisi C

- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah lempung
- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah lempung

- **$0.1\% < P_{fail} \leq 1\%$ (*Ranking 2*) :** -
- **$1\% < P_{fail} \leq 10\%$ (*Ranking 3*) :** -
- **$10\% < P_{fail} \leq 50\%$ (*Ranking 4*) :**

Kondisi A

- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah lempung

Kondisi B

- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah lempung

Kondisi C

- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah lempung

- **$P_{fail} > 50\%$ (*Ranking 5*) :**

Kondisi A

- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah lempung

Kondisi B

- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah lempung

Kondisi C

- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah lempung

6. Dari matriks resiko yang telah ditentukan di sub-bab diatas, didapatkan posisi bentangan kritis berdasarkan DNV RP F 107 adalah sebagai berikut :

- **Acceptable** : -
- **ALARP** :

Kondisi A

- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 1- 2 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah lempung
- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah lempung

Kondisi B

- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah lempung
- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah lempung

Kondisi C

- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 0 - 1 meter pada tanah lempung
- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah lempung

- **Not Acceptable** :

Kondisi A

- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah lempung
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah lempung

Kondisi B

- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah pasir

- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah lempung
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah lempung

Kondisi C

- Kondisi bentangan 1 - 2 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah pasir
- Kondisi bentangan 2 - 3 meter pada tanah lempung
- Kondisi bentangan 3 - 4 meter pada tanah lempung

5.2 SARAN

Topik penelitian tugas akhir dapat dikembangkan lagi dengan mempertimbangkan saran dibawah ini :

1. Melakukan analisis *wave-induced liquefaction* dengan menggunakan *software* sehingga lebih akurat.
2. Melakukan analisis *wave-induced liquefaction* dengan pemodelan dua jenis tanah
3. Melakukan analisis kelelahan akibat bentangan bebas
4. Melakukan analisis dengan metode yang lain
5. Melakukan pengembangan terhadap analisis diatas dengan mencari mitigasi resiko

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, Khairul. 2010. **Macam-Macam Skala Gempa**. <http://khairul-anas.blogspot.co.id/2012/05/macam-macam-skala-gempa.html>
- Ariman, Teoman. 1982. **Buckling and Rupture Failures of Pipelines Due To Large ground Deformations**. University of Tulsa : USA.
- Aulia, Ainu Fita. 2014. **Analisa Potensi Soil Liquefaction Pada Pipa Gas pada Pipa Bawah Laut di Selat Makassar**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan : ITS Surabaya
- Bowles, Joseph E. 1986. **Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)**. Jakarta : Erlangga.
- Budiono, Kris. **Identifikasi Longsoran Bawah Laut Berdasarkan Penafsiran Seismik Pantul Di Perairan Flores 2009**. Puslitbang Geologi Kelautan. : Jl. Dr. Djundjuran 236 Bandung 40174
- Det Norske Veritas. 1988. **DNV RP-E305, On Bottom Stability Design of Submarine Pipelines**. Norway.
- Det Norske Veritas. 2007. **DNV OS-F109, On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines**. Norway.
- Det Norske Veritas. 2009. **DNV-RP-F116. Integrity Management Of Submarine Pipeline Systems**. Norway.
- Det Norske Veritas. 2010. **DNV RP-F107, Risk Assessment Of Pipeline Protection**. Norway.
- Det Norske Veritas. 2010. **DNV-RP-F109. On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines**. Norway.
- Dong, J et al. 2014. *“Local Buckling Analysis of Free Span for Submarine Pipeline”*. **International Conference of Pressure Vessel Technology**. Elsevier : China
- Firucha, Astri. 2012. **“Penilaian Risiko terhadap Pipa Bawah Laut East Java Gas Pipeline (EJGP) Pertagas Akibat Soil Liquefaction karena Gempa Bumi”**. Jurnal Tugas Akhir : Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

- Hanimadhani S., Annisa. 2011. **“Analisa Geohazard Terhadap Jalur Pipa Gas Bawah Laut PGN Labuhan Maringgai-Muara Bekasi”**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan : ITS Surabaya
<http://maritim-engineering.blogspot.co.id/2013/06/langkah-analisa-penilaian-risiko.html>
- Ishihara, K. and Yamazaki, A. (1984). **Analysis of Wave – Induced Liquefaction in Seabed Deposits of Sands**. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engginering. Tokyo.
- Kenny J.P.. (1993). **Structural Analysis of Pipeline spans. Health and Safety Executive, USA.**
- Mousselli, A.H. 1981. **Offshore Pipeline Design, Analysis and Method**. PennWell Books. Oklahoma.
- Muntohar, Agus Setyo. 2010. **Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi**. Laporan Penelitian. Jurusan Teknik Sipil : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Nuraini, Ika Puspita. 2016. **“Analisis Resiko Pipa Bawah Laut Akibat Tarikan Jangkar Dengan Metode Monte Carlo : Studi Kasus Jaringan Pipa Bawah Laut Tunu Field, Blok Mahakam, Kalimantan Timur.”** Jurnal Tugas Akhir ; Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Puja, Wiratmaja. 2011. **“Perancangan dan Konstruksi Sistem Perpipaan”**. ITB.
- Rafika, Aminarti. 2011. **“Analisa Resiko Terhadap Pipa Gas Bawah Laut di Teluk Jakarta akibat Soil Liquefaction”**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan : ITS Surabaya
- Rasyadi, Faris. 2016. **“Analisa Scouring Pipa Bawah Laut Milik Petronas Carigali Ketapang II Ltd. Bukit Tua Development Project Ketapang PSC”** Jurnal Tugas Akhir : Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Riski, Rahmat. 2010. **“Analisa Stabilitas Pipa Bawah Laut Dengan Metode DNV RPF109 : Studi Kasus Proyek Instalasi Pipeline Dari Platform Eza Menuju Platform Ura Sepanjang 7.706 Km Di Laut Jawa”**. Jurnal

Tugas Akhir : Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh
Nopember

Rosyid, D.M. 2007. **Pengantar Rekayasa Keandalan**. Airlangga Press
University : Surabaya.

Sirait, Arnold. “**Pemprov Maluku Dapat 10 Persen Saham Blok Masela**“. 23
September 2015. [http://katadata.co.id/berita/2015/09/23/pemprov-maluku-
dapat-10-persen-saham-blok-masela#sthash.doO5LZxv.dpbs](http://katadata.co.id/berita/2015/09/23/pemprov-maluku-dapat-10-persen-saham-blok-masela#sthash.doO5LZxv.dpbs)

Soegiono. 2007. **Pipa Laut**. Surabaya : Airlangga Press University.

Sumer, B.M. (2014). **Liquefaction Around Marine Structures**. World
Scientific. London.

Svendsen, Ib. A. 2006. “**Introduction to Nearshore Hydrodynamics**”. World
Scientific Co. Pte. Ltd. : Singapore

Syko, Valda. 18 April 2014. [http://pulaumasela.blogspot.co.id/2014/04/pulau-
masela-dulu-dan-sekarang.html](http://pulaumasela.blogspot.co.id/2014/04/pulau-masela-dulu-dan-sekarang.html).

Syukri, Irfan Yuliandri. 2013. “**Abadi Gas Field**”.
<http://inibumi.blogspot.co.id/2012/05/abadi-gas-field.html>

Wicaksono, Pebrianto Eko. “**Fasilitas Pengolahan Blok Masela Harus Segera
Diputuskan**”. 6 Januari 2015.
[http://bisnis.liputan6.com/read/2405156/fasilitas-pengolahan-blok-masela-
harus-segera-diputuskan](http://bisnis.liputan6.com/read/2405156/fasilitas-pengolahan-blok-masela-harus-segera-diputuskan).

Yahya, Arifta. 2012. **Review Kuliah Hidrodinamika**.
<https://oeits.wordpress.com/2012/09/12/review-kuliah-hidrodinamika-1/>.

BIODATA PENULIS



Fadhila Rizky Findasari dilahirkan di Jakarta, 1 Mei 1994. Pendidikan SD, SMP dan SMA ditempuh di Jakarta dan lulus dari SMA Negeri 28 Jakarta. Penulis diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur mandiri di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS. Selama perkuliahan penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan dan juga minat bakat seperti HIMATEKLA dan *Society Petroleum Engineers* (SPE) *Student Chapter* ITS. Berbagai pelatihan dan seminar telah penulis ikuti baik menjadi panitia maupun menjadi

peserta dalam rangka pengembangan diri ke arah yang lebih baik. Penulis merupakan lulusan dari Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Menengah (LKMM TM) FTK. Selama aktif di HIMATEKLA, penulis bergabung di Departemen PSDM (Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa) menjadi Sekretaris Departemen pada periode 2013-2014 dan Kepala Divisi Pemetaan pada periode 2014-2015. Sedangkan pada organisasi *Society Petroleum Engineers* (SPE) *Student Chapter* ITS, penulis bergabung di *Membership Division*. Penulis memiliki minat di bidang pipa bawah laut sehingga penulis mengambil topik pipa bawah laut sebagai topik dalam pengerjaan tugas akhir.